

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ STAVEB

Bakalárska práca

2021

Juraj Šimboch

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ STAVEB

Návrh železobetonové konstrukce stadionové tribuny

Design of reinforced concrete structures of stadium tribune

Študent:

Juraj Šimboch

Vedúci bakalárskej práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph. D.

Ostrava 2021

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Juraj Šimboch**

Studijní program:

B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor:

3607R037 Konstrukce staveb

Téma:

Návrh železobetonové konstrukce stadionové tribuny  
Design of reinforced concrete structures of stadium tribune

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci bakalářské práce bude vypracován návrh železobetonových konstrukcí stadionové tribuny. Jako podklad budou sloužit výkresy půdorysu a řezu tribuny na fotbalovém stadionu v Trenčíně. Nosnou železobetonovou konstrukci tvoří sloupy, šikmé a vodorovné nosníky a deskové konstrukce tribuny a ochozu. Zastřešení je realizováno příhradovou ocelovou konstrukcí. Student vypracuje výkresy tvaru a výkresy výztuže navržených prvků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí.

ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021



### **Prehlásenie študenta**

Čestne prehlasujem, že som bakalársku prácu vypracoval samostatne pod vedením môjho vedúceho bakalárskej práce a riadne som odcitoval všetky použité informačné zdroje a zostavil zoznam použitej literatúry.

.....

V Ostrave

.....

podpis študenta

### **Prohlašuji:**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

.....  
V Ostravě dne

.....  
Juraj Šimboch

## **Anotácia**

ŠIMBOCH, Juraj. *Návrh železobetónové konštrukcie štadiónovej tribúny*. Ostrava, 2021. 125 strán formátu A4. Bakalárska práca. VŠB- Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavebná. Katedra konštrukcií. Vedúci práce MATEČKOVÁ, Pavlína.

Náplňou mojej bakalárskej práce je použitím platných noriem a konštrukčných zásad, podľa metódy medzných stavov navrhnuť a posúdiť nosné prvky železobetónovej tribúny na futbalovom štadióne. Súčasťou bude výkresová dokumentácia tvarov a výstuže navrhnutých prvkov.

## **Kľúčové slová**

Železobetónová prefabrikovaná konštrukcia, zaťaženie, stĺp, šikmý nosník, stropná doska.

## **Annotation**

ŠIMBOCH, Juraj. *Design of reinforced concrete structures of stadium tribune*. Ostrava, 2021. 125 A4 pages . Bachelor thesis. VŠB- Technical university Ostrava. Faculty of Civil Engineering. Department of structures. Supervisor MATEČKOVÁ, Pavlína.

The Aim of Bachelor thesis is an application of design codes and principles, based on the limit states method, and assessment of the load bearing reinforced concrete structural elements of a tribune of football stadium. Static analysis is complemented with drawings of reinforcement of designed structural elements.

## **Key words**

Precast reinforced concrete structure, action on structure, column, inclined beam, ceiling slab

## Obsah

Úvod .....	1
1. Technická správa .....	2
1.1. Účel objektu .....	2
1.2. Popis konštrukcie .....	3
2. Výpočet zaťaženia .....	5
2.1. Oceľová strešná konštrukcia .....	5
2.1.1. Stále zaťaženie .....	6
2.1.2. Úžitné zaťaženie .....	7
2.1.3. Klimatické zaťaženie- Sneh .....	8
2.1.4. Klimatické zaťaženie- Vietor .....	10
2.2. Zaťaženie na železobetónovú konštrukciu .....	19
2.2.1. Klimatické zaťaženie- Vietor .....	19
2.2.2. Stále zaťaženie .....	22
2.2.3. Úžitné zaťaženie .....	23
2.3. Zaťažovacie stavy .....	24
2.4. Kombinácia zaťažení .....	26
3. Výpočet vnútorných síl .....	30
3.1. Stropné dosky .....	30
3.1.1. Stropná doska D1 .....	30
3.1.2. Stropná doska D2 .....	31
3.1.3. Stropná doska D3 .....	33
3.2. ŽB prievlak .....	35
3.2.1. Prievlak P1, P2,P3 a P4 .....	35
3.2.2. Prievlak P5 .....	36
3.3. Stĺpy .....	39
3.3.1. Stĺp S1 .....	39

3.3.2.	Stĺp S2 .....	40
3.3.3.	Stĺp S3 .....	41
3.3.4.	Stĺp S4 .....	42
3.4.	Šikmý nosník tribúny.....	44
4.	Návrh a posudok nosných prvkov .....	49
4.1.	Návrh a posudok stropných dosiek.....	51
4.1.1.	.....	51
4.1.2.	Návrh a posudok pre dosku D1, D2 .....	51
4.1.3.	Návrh a posudok pre dosku D3 .....	61
4.2.	Návrh a posudok prievlakov .....	72
4.2.1.	Návrh a posudok pre prievlak P1 .....	72
4.2.2.	Návrh a posudok pre prievlak P2,P3,P4.....	80
4.2.3.	Návrh a posudok pre prievlak P5 .....	87
4.4.	Návrh a posudok stĺpov .....	95
4.5.	Návrh a posudok šikmého nosníka tribúny .....	112
Záver.....	.....	119
Zoznam obrázkov .....	.....	121
Zoznam tabuliek .....	.....	123
Zoznam príloh .....	.....	124
Zoznam použitej literatúry .....	.....	125



## Zoznam použitých označení

A	Súčiniteľ vplyvu dotvarovania betónu	[–]
$A_c$	Prierezová plocha betónu	[mm <sup>2</sup> ]
$A_s$	Plocha výstuže	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{s,max}$	Maximálna plocha výstuže	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{s,min}$	Minimálna plocha výstuže	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{s,r}$	Plocha rozdeľovacej výstuže	[mm <sup>2</sup> ]
$A_{sw}$	Plocha výstuže strmienka	[mm <sup>2</sup> ]
B	Súčiniteľ vplyvu vystuženia	[–]
C	Súčiniteľ vplyvu zaťaženia	[–]
$c_{dev}$	Tolerančné zväčšenie	[mm]
$C_{dir}$	Súčiniteľ smeru vetra	[–]
$C_e$	Súčiniteľ epozície	[–]
$c_{min,b}$	Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti	[mm]
$C_{min,dur}$	Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia	[mm]
$co_{(z)}$	Súčiniteľ ortografie	[–]
$cr_{(z)}$	Súčiniteľ drsnosti	[–]
$C_{season}$	Súčiniteľ ročného obdobia	[–]
$C_t$	Tepelný súčiniteľ	[–]
d	Účinná výška prierezu	[mm]
$d_g$	Maximálny priemer zrn kameniva	[mm]
$E_c$	Modul pružnosti betónu	[MPa]
$E_s$	Návrhová hodnota modulu pružnosti betonárskej výstuže	[MPa]
F <sub>s</sub>	Sila vo výstuži	[kN]

$f_{bd}$	Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti	[MPa]
$f_{cd}$	Návrhová valcová pevnosť betónu v tlaku	[MPa]
$f_{ck}$	Charakteristická valcová pevnosť betónu v tlaku	[MPa]
$f_{ctd}$	Návrhová pevnosť betónu v dostredenom tlaku	[MPa]
$f_{ctk;0,05}$	Charakteristická pevnosť betónu v dostredenom tlaku 5% kvantil	[MPa]
$f_{ctm}$	Pevnosť betónu v ťahu	[MPa]
$f_{yd}$	Návrhová hodnota medze klzu ocele	[MPa]
$f_{yk}$	Charakteristická hodnota medze klzu ocele	[MPa]
$f_{ywd}$	Návrhová hodnota medze klzu ocele pre strmienky	[MPa]
$g_{d(1,2,D1,v1,...)}$	Návrhová hodnota stáleho zaťaženia	[kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$g_{k(1,2,D1,v1,...)}$	Charakteristická hodnota stáleho zaťaženia	[kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$h_{(1,2,3,...)}$	Výška konštrukcie,dosky,prievlaku.....	[m]
$I$	Moment zotrvačnosti prierezu	[mm <sup>4</sup> ]
$i$	polomer zotrvačnosti prierezu bez trhlín	[mm]
$I_{vz}$	Intenzita turbulencie	[–]
$K$	Súčiniteľ zohľadňujúci nosný systém	[–]
$k_1, k_2$	Súčinitele podľa Eurokódu	[–]
$K_r$	Súčiniteľ terénu	[–]
$l_{bd}$	Kotviaca dĺžka	[mm]
$l_{b,rgd}$	Základná kotviaca dĺžka	[mm]
$l_{b,min}$	Minimálna kotviaca dĺžka	[mm]
$l_0$	Účinná dĺžka	[m]
$n$	Pomerná normálová sila	[–]
$M_{01,02}$	Koncové ohybové momenty	[kNm]
$M_{Ed}$	Návrhová hodnota rozhodujúceho ohybového momentu	[kNm]

$M_{Ed,max}$	Hodnota maximálneho ohybového momentu	[kNm]
$M_{Rd(1,2,...)}$	Ohybový moment na medzi únosnosti prierezu	[kNm]
$N_{Ed}$	Návrhová hodnota normálovej sily	[kN]
$N_{Ed,max}$	Hodnota maximálnej normálovej sily	[kN]
$q_d$	Návrhová hodnota proměnného zatížení	[kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$q_k$	Charakteristická hodnota proměnného zatížení	[kN/m <sup>2</sup> ; kN/m]
$q_p(z)$	Maximálny charakteristický tlak	[kN/m <sup>2</sup> ]
$S_l$	Vzdialenosť medzi strmienkami	[mm]
$S_{max}$	Maximálna osová vzdialenosť hlavnej výstuže	[mm]
$S_{min}$	Minimálna svetlá vzdialenosť prutov	[mm]
$S_r$	Vzdialenosť rozdeľovacej výstuže	[mm]
$S_{r,max}$	Maximálna vzdialenosť rozdeľovacej výstuže	[mm]
$s_t$	vzdialenosť medzi vetvami strmienka	[mm]
$s_{t,max}$	Maximálna vzdialenosť medzi vetvami strmienka	[mm]
$V_{Ed}$	Návrhová hodnota posúvajúcich síl	[kN]
$V_{Ed,max}$	Hodnota maximálnej posúvajúcej sily	[kN]
$V_{Rd,s}$	Únosnosť strmienkov	[kN]
$V_{b,0}$	Základná rýchlosť vetra	[m/s]
$V_m$	Charakteristická stredná rýchlosť vetra	[m/s]
$W$	Prieťah	[mm]
$W_{ke}$	Tlak vetra na vonkajšie povrchy	[kN/m <sup>2</sup> ]
$W_{ki}$	Tlak vetra pôsobiaci na vnútorné povrchy	[kN/m <sup>2</sup> ]
$w_{max}$	Maximálna prijateľná šírka trhliny	[mm]
$x$	Výška tlačenej oblasti	[mm]

$z$	Rameno vnútorných síl	[mm]
$z_e = z_i$	Vnútorná a vonkajšia referenčná výška	[m]
$z_{l(2)}$	Časť ramena vnútorných síl (od osy výstuže po neutrálnu osu)	[m; mm]
$z_{max}$	Maximálna referenčná výška budovy	[m]
$z_{min}$	Minimálna referenčná výška budovy	[m]
$Z_{0,II}$	Kategória terénu	[–]
$\alpha$	Uhol odklonu strmienkov od strednice nosníka	[°]
$\gamma_c$	Súčiniteľ spoľahlivosti betónu	[–]
$\gamma_G$	Súčiniteľ spoľahlivosti pre stále zaťaženia	[–]
$\gamma_Q$	Súčiniteľ spoľahlivosti pre premenné zaťaženia	[–]
$\gamma_s$	Súčiniteľ spoľahlivosti oceli	[–]
$\epsilon_{cu3}$	Medzné pomerné pretvorenie	[–]
$\epsilon_{c2}$	Pomerné pretvorenie po dosiahnutí maximálnej pevnosti	[–]
$\eta$	Súčiniteľ definujúci účinnú pevnosť	[–]
$\eta_1$	Súčiniteľ vplyvu súdržnosti	[–]
$\eta_2$	Súčiniteľ vplyvu priemeru prutu	[–]
$\theta$	Uhol medzi tlakovými diagonálami a osou prievlaku	[°]
$\lambda$	Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny	[–]
$\lambda_{lim}$	Limitní štíhlosť stĺpu	[–]
$\lambda_{sl}$	štíhlosť stĺpu	[–]
$\nu$	Súčiniteľ znižujúci pevnosť betónu v tlaku	[–]
$\xi$	Pomerné výška tlačenej oblasti betónu	[–]
$\xi_{bal1}$	Pomerné pretvorenie oceli a betónu	[–]
$\rho_w$	Stupeň vystuženia ťahanou výstužou	[–]
$\rho_{w,min}$	Minimálny stupeň vystuženia ťahanou výstužou	[–]
$\rho_0$	Referenčný stupeň vystuženia	[–]

## Úvod

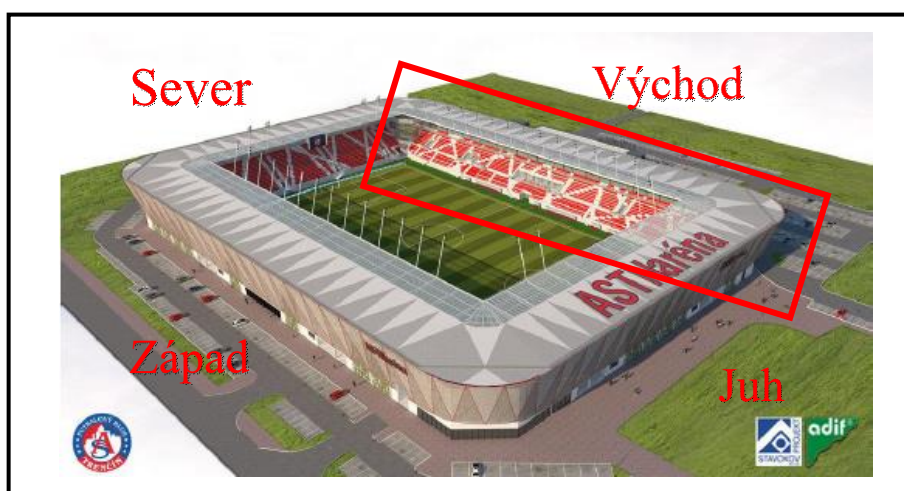
V bakalárskej práci sa budem venovať statickému návrhu a posudku hlavných nosných častí železobetónovej prefabrikovanej konštrukcie futbalovej tribúny. Ako predlohu k mojej práci som využíval pôvodný návrh, ktorý vypracovala spoločnosť STAVOKOV PROJEKT s.r.o. V práci sa budem snažiť odhadnúť vplyv zaťaženia a následne naň navrhnuť hlavné nosné prvky ako stropné dosky, prievlaky, stĺpy a šikmý nosník tribúny. Návrh ocelevej konštrukcie prestrešenia tribúny a ani návrh základových konštrukcií nebude predmetom tejto bakalárskej práce.

# 1. Technická správa

Všetky podklady k mojej práci čerpám z projektovej dokumentácie a technických listov spoločnosti STAVOKOV PROJEKT s.r.o, Brnianska 10, 911 05 Trenčín.

## 1.1.Účel objektu

Východná tribúna ako predmet mojej bakalárskej práce je súčasťou novej futbalovej arény. Objekt sa nachádza v zastavanom území na mieste bývalého futbalového štadióna v katastrálnom území Trenčín, mesto Trenčín.. Číslo parcely 1627/308. Je súčasťou areálu so športovými plochami, s futbalovým ihriskom a slúži pre kultúrne a eventové podujatia ako zázemie pre divákov, účastníkov futbalových zápasov. Súčasťou sú ale aj kancelárie pre potreby klubu, pre zástupcov médií, priestory reštaurácie s barom a riadiaca miestnosť. (viď obr. 1, obr.2 a obr.3)



Obrázok 1 štadión



Obrázok 2 východná tribúna, pohľad z hracej plochy



Obrázok 3 Východná tribúna pohľad z parkoviska

## 1.2. Popis konštrukcie

Ide o trojpodlažný objekt. Hlavnú nosnú konštrukcia tribúny tvoria železobetónové rámy v modulovej osnove  $6,75\text{m} \times 6,2\text{m}$ ,  $6,75\text{m} \times 3,69\text{m}$  a  $6,75\text{m} \times 3,885\text{m}$ . Priestorová tuhosť je zabezpečená priečnymi a pozdĺžnymi stužidlami. Tzv. Stenovými rozperami a prefabrikovanými panelmi kotvenými do ocelových schodníc. Pôdorysné rozmery objektu sú  $152,06\text{m} \times 33,4\text{m}$ . Hlavná strešná konštrukcia je vyhotovená z ocele. V úseku od osi Y3 až Y20 má konštrukcia identickú geometriu. V rohoch tribúny je konštrukcia navrhnutá tak, aby spĺňala architektonické požiadavky. (viď obr. 12)

### Založenie stavby:

Je na základe reakcií z hornej stavby riešené osadením nosných stĺpov do monolitických kalichov vytvorených na veľkopriemerových vrтанých pilotoch o rozmere  $900\text{mm} \times 600\text{mm}$  a dĺžky  $6,5\text{m}$  a  $7,5\text{m}$  a  $8,5\text{m}$ . Toto uloženie uvažujeme ako votknutie. Piloty sú navrhnuté z betónu triedy C25/30 a vystužené prúťovou výstužou B500B. Posúdenie založenia stavby nie je predmetom tejto bakalárskej práce a preto sa mu v ďalšej časti mojej práce nebudem venovať.

### Nosné stĺpy:

Sú navrhnuté ako priebežné cez 3 nadzemné podlažia zo železobetónu C35/50 o priereze  $500 \times 400\text{mm}$ . Východná tribúna je rozdelená na tri dilatčné úseky po  $40,5\text{m}$ . V mieste dilatácie je prevedené zdvojenie stĺpov. Stĺpy nesúce strešnú konštrukciu tribúny majú v hlavovej časti osadenú masívnu ocelovú platňu pre zvarové pripojenie ocelových nosníkov. (viď obr.4)

Tribúnove nosníky- šikmé nosníky:

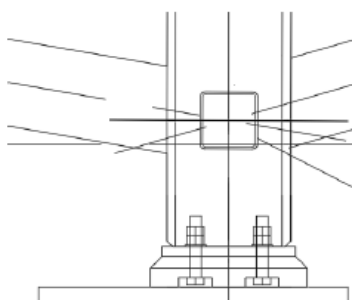
Nosné prvky sú navrhnuté ako prefabrikované z betónu C35/50 XC3. Sú uložené na nosné konzolky na prefabrikovaných stĺpoch. Rozmer prierezu šikmých nosníkov je 400x 650mm. Osadené sú na elastomérové ložiská. Na ne sú následne uložené betónové tribúnove lavice na šírke 6,75m, na ktoré sú následne osadené plastové sedačky pre návštevníkov alebo taktiež prefabrikované schodíky v miestach schodísk.

Stropné prievlaky- vodorovné nosníky:

Majú šírku 400x 350mm. Staticky pôsobia ako jednopólové – prosté nosníky uložené na krátkych konzolkách prefabrikovaných stĺpov. Pre môj návrh som urobil úpravu výšky prievlaku oproti pôvodnému návrhu z 350mm na 500mm.

Strešná konštrukcia:

Hlavné prestrešenie tribúny je navrhnuté ako oceľová priehradová konštrukcia. Jej základnou statickou schémou je konzola, vzadu vystrojená vyvažovacím závesom dimenzovaným na namáhanie v tlaku resp. v ťahu. Je ukotvená do železobetónových stĺpov šróbovými spojmami cez oceľovú dosku. Pričom cez toto uloženie sa budú prenášať klimatické, premenlivé a stále zaťaženia od strešnej konštrukcie a strešného plášťa. Strešný plášť bude realizovaný z liateho PVC polykarbonátu hr. 10mm v rozmere 8,0 m x 1,0 m. a trapézového plechu TR44/180. Výpočet a posudok oceľovej konštrukcie prestrešenia nie je cieľom mojej bakalárskej práce. .



Obrázok 4- kotvenie oceľovej konštrukcie strechy do železobetónových stĺpov





### 2.1.1. Stále zaťaženie

Vlastná tiaž prutov priebrady, väzníc a ztužidiel oceľovej strešnej konštrukcie bola vypočítaná programom SCIA Engineer 19.1.

#### Strešný plášť

Strešný plášť je riešený dvoma spôsobmi. V najvzdialenejšej časti konzoly od miesta podopretia v smere k hracej ploche v dĺžke 8 m sú uložené priesvitné liate polykarbonátové dosky, ktoré zabezpečujú svetelnosť prednej časti tribúny (modrá farba - vid' obr.5). Od priehradového ztužidla za väznicou 6 naväzuje Trapézový plech TR 44/180 (červená farba vid' obr.5).

#### Výpočet

*Trapézový plech TR 44/180*

*Liaty polykarbonát*

Hrúbka:  $t_1 = 0,010 \text{ m}$

objemová tiaž  $\gamma = 12,00 \text{ KNm}^{-3}$

Charakteristická hodnota zaťaženia

$$q_{k1} = 0,10 \text{ KNm}^{-2}$$

Charakteristická hodnota zaťaženia

$$q_{k2} = 0,12$$

Rozmiestnenie väzníc nie je rovnomerné a preto budú rozdielne zaťažovacie šírky pre každú väznicu.

Zaťaženie na väznicu  $v_1$  až  $v_3$

Zaťaženie na väznicu  $v_4$  až  $v_6$

$$g_{k1,v1} = 0,10 \cdot 6,38 \text{ m} = 0,64 \text{ KN/m}$$

$$g_{k2,v3} = 0,12 \cdot 3,89 \text{ m} = 0,47 \text{ KN/m}$$

$$g_{k1,v2} = 0,10 \cdot 3,89 \text{ m} = 0,39 \text{ KN/m}$$

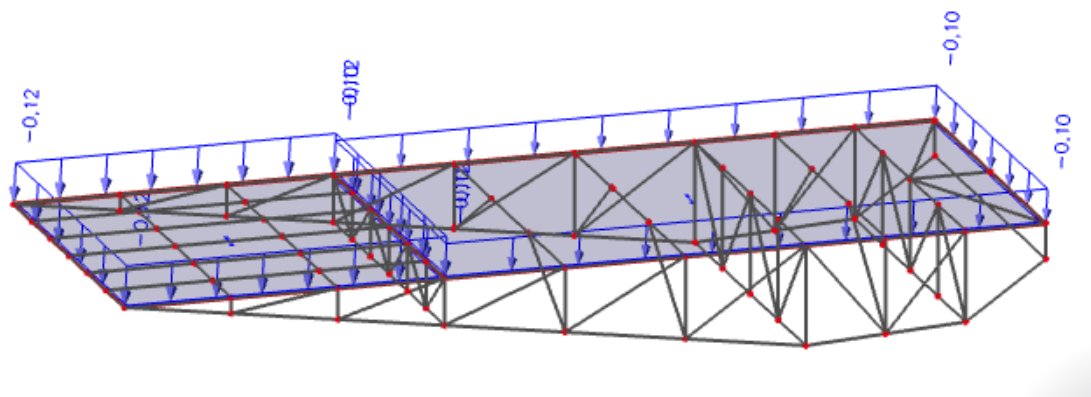
$$g_{k2,v4} = 0,12 \cdot 2,59 \text{ m} = 0,31 \text{ KN/m}$$

$$g_{k1,v3} = 0,10 \cdot 4,41 \text{ m} = 0,44 \text{ KN/m}$$

$$g_{k2,v5} = 0,12 \cdot 1,29 \text{ m} = 0,15 \text{ KN/m}$$

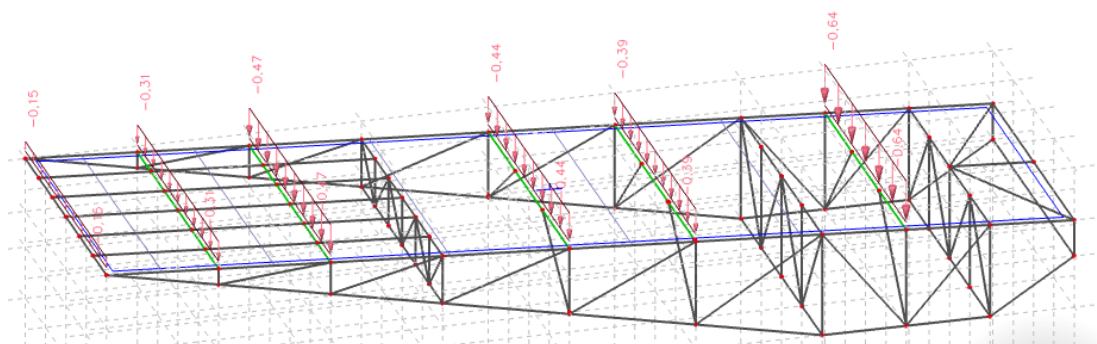
Grafické znázornenie:

Zaťaženie strešného plášt'a



Obrázok 6 zaťaženie- strešný plášť

Zaťaženie od strešného plášt'a, na väznice prestrešenia tribúny



Obrázok 7 zaťaženie na väznice- strešný plášť

### 2.1.2. Úžitné zaťaženie

Strechy kategórie H- neprístupné s výnimkou bežnej údržby a opravy

Charakteristická hodnota zaťaženia

$$q_{k3} = 0,75 \text{ KNm}^{-2}$$

Roznos zaťaženia do väzníc  $v_1$  až  $v_6$

$$g_{k3,v1} = 0,75 \cdot 6,38\text{m} = 4,79 \text{ KN/m}$$

$$g_{k3,v2} = 0,75 \cdot 3,89\text{m} = 2,92 \text{ KN/m}$$

$$g_{k3,v3} = 0,75 \cdot 4,41\text{m} = 3,31 \text{ KN/m}$$

$$g_{k3,v3} = 0,75 \cdot 3,89\text{m} = 2,92 \text{ KN/m}$$

$$g_{k3,v4} = 0,75 \cdot 2,59\text{m} = 1,94 \text{ KN/m}$$

$$g_{k3,v5} = 0,75 \cdot 1,29\text{m} = 0,97 \text{ KN/m}$$



možnosť využitia tejto normy, uvažovať hodnoty pre oblasť kategórie II snehovej mapy Českej republiky. Predpokladám veľmi podobné hodnoty.

Snehová oblasť II

Sklon prestrešenia

$$\alpha = 4,87^\circ$$

Súčiniteľ expozície- normálny typ krajiny

$$C_e = 0,8$$

Tepelný súčiniteľ

$$C_t = 1$$

Tvarový súčiniteľ zaťaženia snehom – rovnomerné zaťaženie

$$\mu_i = 0,8$$

Charakteristická hodnota zaťaženia snehom na zemi

$$S_k = 1 \text{ kN/m}^2$$

Charakteristická hodnota zaťaženia snehom

$$s_{k1} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,80 \text{ kN/m}^2 \quad (2.1)$$

$$s_{k2} = 0,5 \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad (2.2)$$

Návrhová hodnota zaťaženia snehom

$$s_{d1} = s_{k1} \cdot 1,5 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{d2} = s_{k2} \cdot 1,5 = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

Roznos zaťaženie na väznicu

Zaťaženie na väznicu v1 až v6

$$s_{k1,v1} = 0,80 \cdot 6,38\text{m} = 5,10 \text{ KN/m}$$

$$s_{k1,v2} = 0,80 \cdot 3,89\text{m} = 3,11 \text{ KN/m}$$

$$s_{k1,v3} = 0,80 \cdot 4,41\text{m} = 3,53 \text{ KN/m}$$

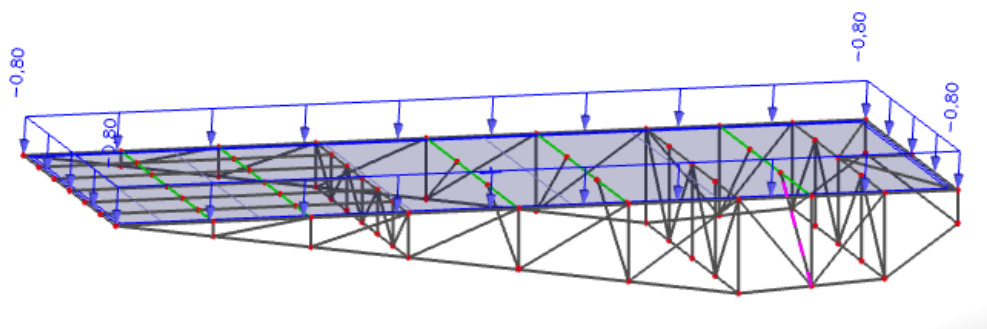
$$s_{k1,v3} = 0,80 \cdot 3,89\text{m} = 3,11 \text{ KN/m}$$

$$s_{k1,v4} = 0,80 \cdot 2,59\text{m} = 2,07 \text{ KN/m}$$

$$s_{k1,v5} = 0,80 \cdot 1,29\text{m} = 1,03 \text{ KN/m}$$

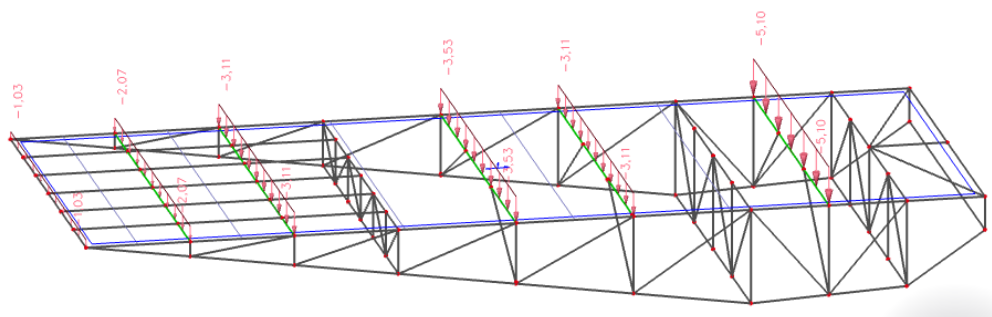
## Grafické znázornenie

## Klimatické zaťaženie pôsobenie snehu na prestrešenie tribúny



Obrázok 10 klimatické zaťaženie sneh

## Zaťaženie od pôsobenia snehu, prenesené na väznice



Obrázok 11 zaťaženie na väznice- sneh

**2.1.4. Klimatické zaťaženie- Vietor**

Miesto, kde sa stavba nachádza patrí do veternej oblasti I. Terénu v mieste objektu patrí do kategórie III (oblasť rovnomerne pokrytá vegetáciou, budovami alebo izolovanými prekážkami, ktorých vzdialenosť je rovná maximálne 10 násobku výšky prekážky).

Sklon strechy je  $4.87^\circ > 5^\circ$  (pôsobenie zaťaženia vetru uvažujeme ako pre ploché strechy s maximálnym sklonom  $-5\% > 0 > 5\%$ ). Výška najvyššieho bodu konštrukcie je  $h = 18,975\text{m}$ .

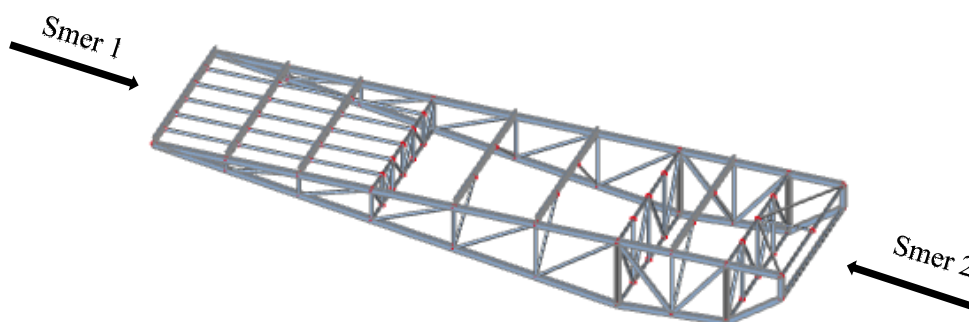
Pre komplikovanosť a rozsiahlosť konštrukcie si vyberiem na výpočet reakcií do stĺpov žb časti, iba jeden úsek prestrešenia v rozmedzí tribúny od osy Y20 do Y3 (viď obr. 13). v zaoblenej časti pôdorysu sa rôzne časti líšia z dôvodu vytvorenia pôdorysného zakrivenia, kvôli architektonickému návrhu. V rovnom úseku si vyberiem preto jeden dielec a v tomto mieste budem posudzovať žb rám s jeho nosnými prvkami. Je to miesto s predpokladaným

najväčším zaťažením a s najväčšími rozponom rámov žb konštrukcie. Tieto úseky sa v konštrukcii východnej tribúny opakujú 17- krát.

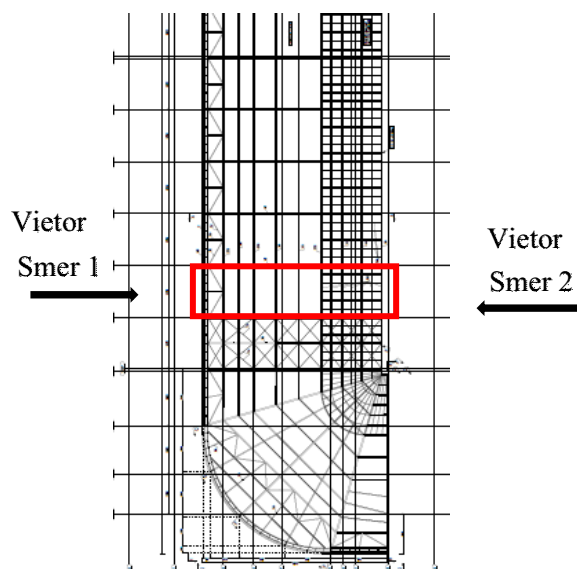


Obrázok 12 označenie vybratej časti konštrukcie v pôdoryse

Prístup vetru bude možný iba dvoma smermi. Preto budem uvažovať len so zaťažením vetra v pozdĺžnom smere (viď obr.13 a 14). Zaťaženie od priečneho vetra zanedbám. Toto zaťaženie bude najviac zaťažovať strešnú konštrukciu v zaoblenej časti pôdorysu a roznesenie tohto zaťaženia nebude mať veľký vplyv na mnou vyšetovaný rám.



Obrázok 13 smer pôsobenia vetra na 3D model



Obrázok 14-smer pôsobenia pozdĺžneho vetra v pôdoryse tribúny

Súčiniteľ smeru vetra

$$C_{dir} = 1$$

Súčiniteľ ročného obdobia

$$C_{season} = 1$$

Základná rýchlosť vetra

$$V_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Výška objektu nad zemou

$$z = 18,975 \text{ m}$$

Vnútoraná a vonkajšia referenčná výška

$$z_e = z_i = 18,975 \text{ m}$$

Minimálna a maximálna výška

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_{max} = 200 \text{ m}$$

overenie podmienky

$$z_{min} = 5 \text{ m} < z = 18,975 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$$

*Podmienka je splnená*



Kategória terénu

$$Z_0 = 0,3$$

$$Z_{0,II} = 0,05$$

Súčinitel terénu

$$Kr = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (2.3)$$

Súčinitel drsnosti

$$Cr(z) = kr \cdot \ln \frac{z_0}{z_{0,II}} = 0,215 \cdot \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,8932 \quad (2.4)$$

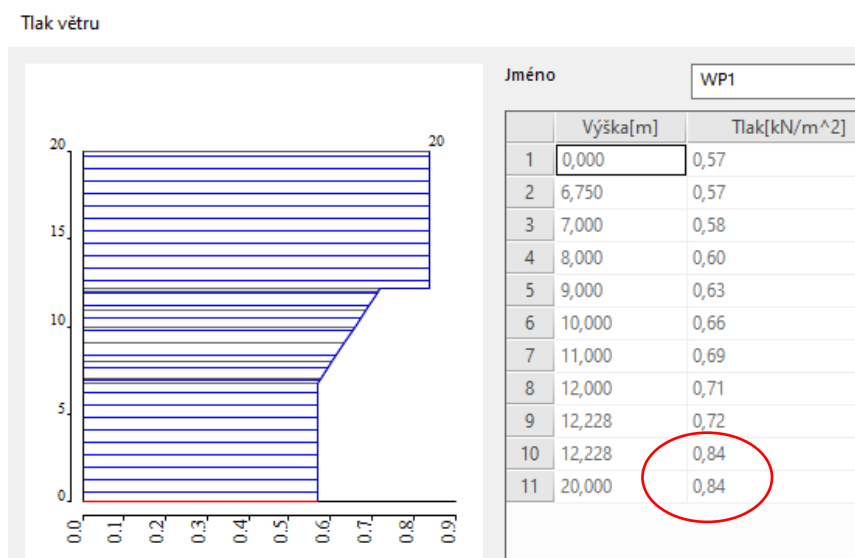
Intenzita turbulencie

$$Iv(z) = \frac{kl}{c_0(z) \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left( \frac{18,975}{0,3} \right)} = 0,241 \quad (2.5)$$

Maximálny charakteristický tlak

$$qp(z) = [1 + 7 \cdot Iv(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2 = 0,838 \text{ kN/m}^2 \quad (2.6)$$

Hodnota  $q_p(z)$  maximálneho charakteristického tlaku na konštrukciu dopočítaná ručne je rovnaká ako aj vygenerovaná hodnota v programe Scia. Zokrúhlene  $qp(z) = 0,84 \text{ kN/m}^2$ . (viď obr.15)



Obrázok 15 - hodnota max charakteristického tlaku vetru vygenerovaného v programe SCIA

súčiniteľ ortografie

$$c_{o(z)} = 1$$

súčiniteľ turbulencie

$$k_r = 1$$

Hustota vzduchu

$$\rho = 1,250 \text{ kg/m}^3$$

Charakteristická stredná rýchlosť vetra

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b = 0,8932 \cdot 1 \cdot 25 = 22,331 \text{ m/s} \quad (2.7)$$

Kvázistály odozva

Tlak vetra pôsobiaci na vnútorné povrchy

$$W_{ki} = q_p(z) \cdot c_{pi} \quad (2.8)$$

Tlak vetra na vonkajšie povrchy

$$W_{ke} = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (2.9)$$

Výsledný tlak vetru na konštrukciu

$$W_k = W_{ke} + W_{ki} = q_p(z) \cdot (c_{pe} + c_{pi}) \quad (2.10)$$

#### Tlak vetra na strešný plášť konštrukcie

Priečny smer vetra - zanedbáme toto zaťaženie bude mať minimálny účinok na túto časť konštrukcie.

Pozdĺžny smer vetra

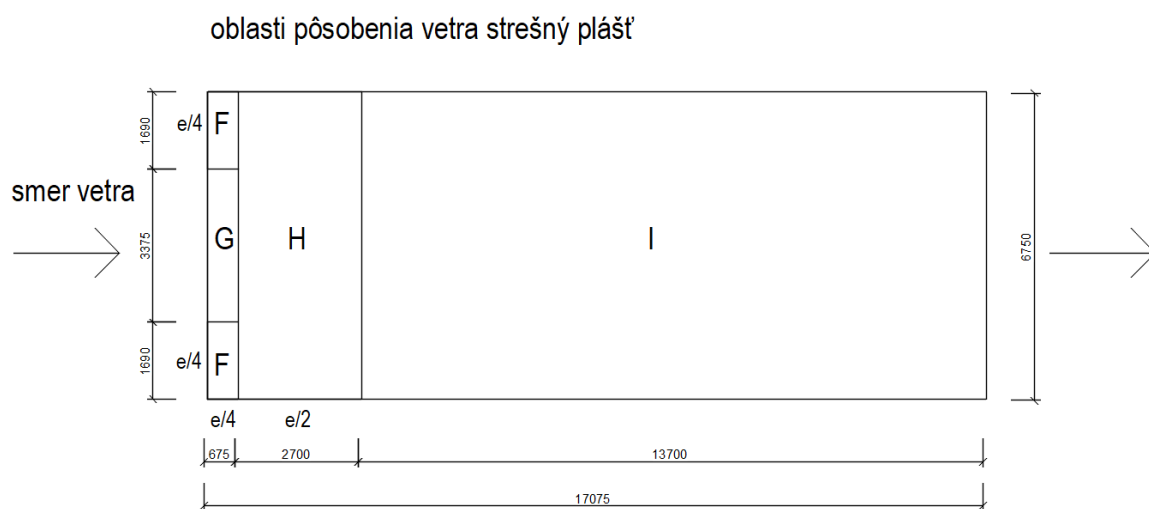
$$e = \min(b, 2h) = \min(6,75\text{m}; 2 \cdot 18,975\text{m}) = 6,75 \text{ m}$$

Hodnoty pre vymedzenie oblasti pôsobenia vetra na ploché strechy F,G,H,I (viď obr.16)

$$e/2 = 3,375 \text{ m}$$

$$e/4 = 1,668 \text{ m}$$

$$e/10 = 0,675$$



Obrázok 16- rozdelenie oblastí pre pôsobenie pozdĺžneho vetra pre plochú strechu

Pôsobenie vetru na plochu strešnej konštrukcie väčšej ako  $10\text{m}^2$ , použijeme hodnoty súčiniteľov vonkajších tlakov pre ploché strechy  $c_{pe,10}$

Hodnoty súčiniteľa vonkajšieho tlaku  $C_{pe,10}$

$$C_{pe,10}^{F-} = -1,8$$

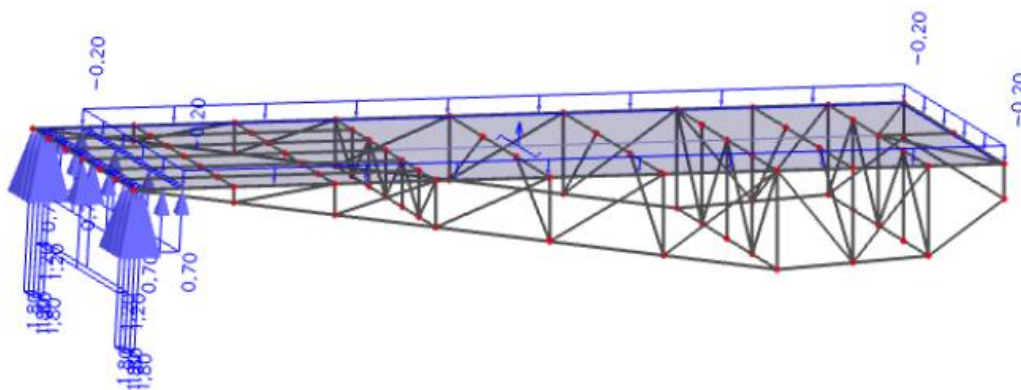
$$C_{pe,10}^{G-} = -1,2$$

$$C_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$C_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$C_{pe,10}^{I+} = +0,2$$

Porovnanie s 3D generátorom vetra v programe SCIA: hodnoty  $C_{pe,10}$



Obrázok 17 3D generátor vetra  $c_{pe10}$

Hodnoty súčiniteľa vonkajšieho tlaku  $C_{pi}$ ,

$$C_{pi}^+ = 0,2$$

$$C_{pi}^- = -0,3$$

Výsledný tlak vetra na strešnú konštrukciu je výsledkom vektorového súčtu tlaku vetra interiéru a v exteriéry.

$$W_k = W_{ke} + W_{ki} = q_p(z) \cdot (C_{pe} + C_{pi}) \quad (2.11)$$

Výsledné hodnoty pre  $c_{pi10} = 0,2$

$$W_K^F = 0,838 \cdot (-1,8 - 0,2) = -1,675 \text{ kN/m}^2$$

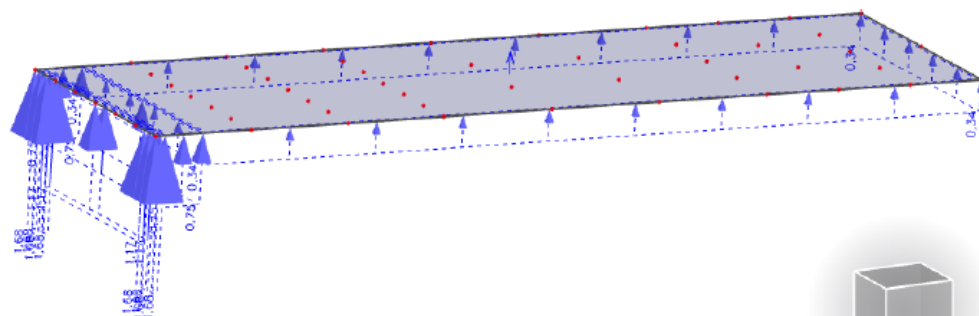
$$W_K^G = 0,838 \cdot (-1,2 - 0,2) = -1,173 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^H = 0,838 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,754 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^I = 0,838 \cdot (-0,2 - 0,2) = -0,335 \text{ kN/m}^2$$

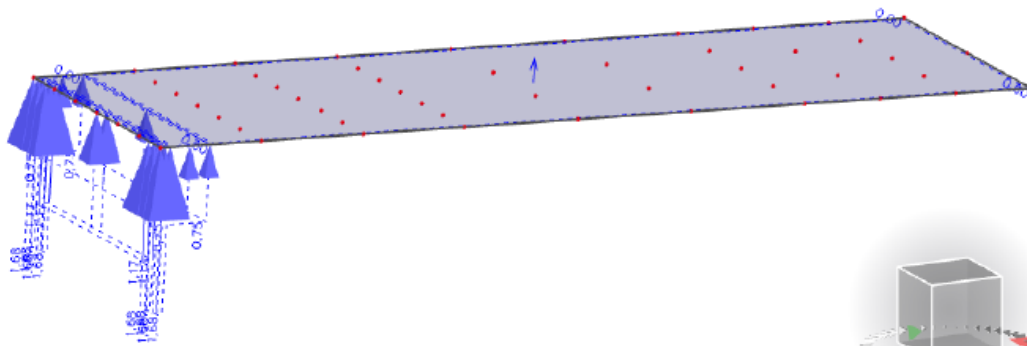
$$W_K^{I+} = 0,838 \cdot (+0,2 - 0,2) = 0 \text{ kN/m}^2$$

Porovnanie s 3D generátorom vetra: zaťažovací stav - vietor  $0^\circ + C_{pi} ; -C_{pe}$



Obrázok 18 výsledný tlak vetra  $w_k$  pre  $-c_{pi}=0,2$

Porovnanie s 3D generátorom vetra: zaťažovací stav - vietor  $0^\circ + C_{pi} ; +C_{pe}$



Obrázok 19 výsledný tlak vetra  $w_k$  pre  $+c_{pi}=0,2$

Výsledné hodnoty pre  $c_{pi10} = -0,3$

$$W_K^{F-} = 0,838 * (-1,8 + 0,3) = -1,257 \text{ kN/m}^2$$

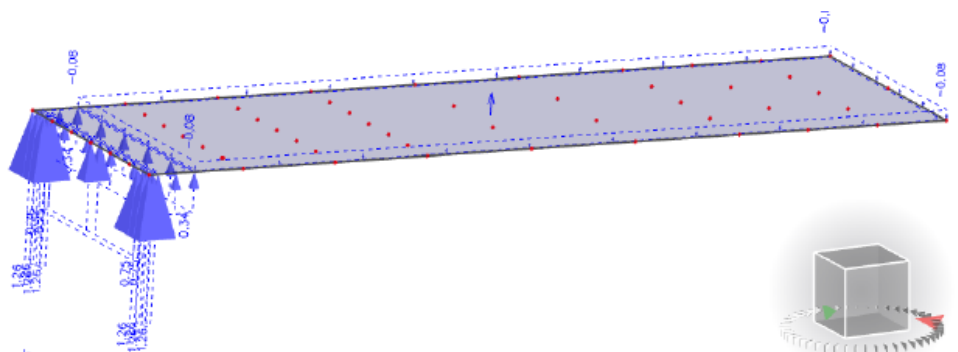
$$W_K^{G-} = 0,838 * (-1,2 + 0,3) = -0,754 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^{H-} = 0,838 * (-0,7 + 0,3) = -0,335 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^{I-} = 0,838 * (-0,2 + 0,3) = 0,084 \text{ kN/m}^2$$

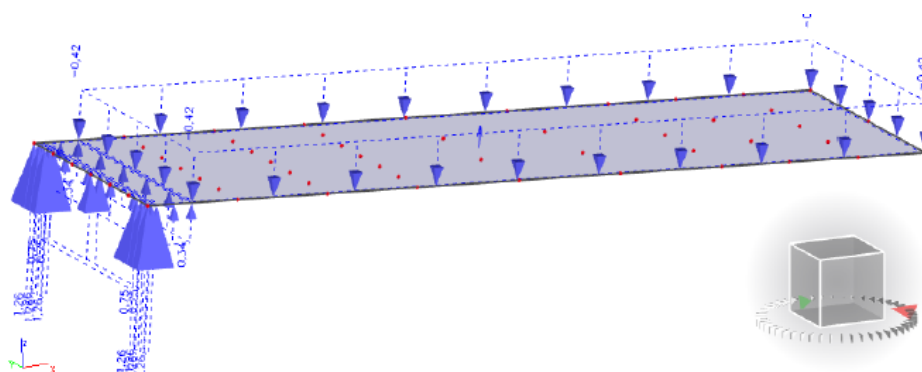
$$W_K^{I+} = 0,838 * (+0,2 + 0,3) = 0,419 \text{ kN/m}^2$$

Porovnanie s 3D generátorom vetra: zaťažovací stav - vietor  $0^\circ$  -  $C_{pi}$  ;  $-C_{pe}$



Obrázok 20 výsledný tlak vetra  $w_k$  pre  $-c_{pi} = -0,3$

Porovnanie s 3D generátorom vetra: zaťažovací stav - vietor  $0^\circ$  -  $C_{pi}$  ;  $+C_{pe}$



Obrázok 21 výsledný tlak vetra  $w_k$  pre  $+c_{pi} = -0,3$

Druhý smer má identické rozmery plôch oblastí vetra na plochej streche a taktiež hodnoty  $w_k$  budú rovnaké. Nebudem ho preto graficky znázorňovať.

## 2.2.Zat'azenie na železobetónovú konštrukciu

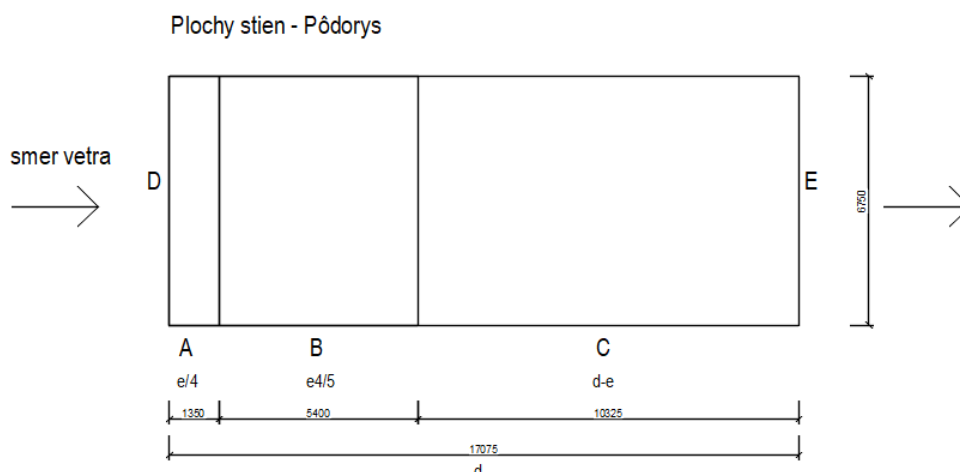
### 2.2.1. Klimatické zat'azenie- Vietor

Výpočet som urobil pre pôsobenia tlaku a sania vetra do stĺpov a taktiež do tribúnových šikmých nosníkov od hracej plochy štadióna. Výpočet pôsobenie tlaku vetra na pruty priehradovej oceľovej strešnej konštrukcie nie sú predmetom mojej bakalárskej práce.

#### Pozdĺžny smer vetra- Rámová ŽB konštrukcia

Referenčná výška zat'azenej konštrukcie- výška ŽB stĺpu

$$h_1 = 17,15 \text{ m}$$



Obrázok 22- označenie plôch stien ( pôdorys objektu)

$$e = \min(b, 2h) = \min(6,75 \text{ m}; 2 \cdot 17,150 \text{ m}) = 6,75 \text{ m}$$

$b = 6,75 \text{ m}$  (pôdorysný rozmer kolmo na smer zat'azenia vetra- vzdialenosť 2 ŽB rámov )

$d = 17,075 \text{ m}$  (dĺžka časti rámovej konštrukcie)

Pre hodnoty  $C_{pe,10}$  oblasť D a E

$$h_1/d = 17,150 / 17,075 = 1,0043 = 1$$

(hodnotu pomeru 1,0043 nebudem interpolovať, hodnoty pre  $c_{pe}$  použijem pre pomer 1, rozdiel v hodnotách by bol zanedbateľný)

Hodnoty súčiniteľa vonkajšieho tlaku  $C_{pe,10}$  pre oblasť D a E

$$C_{pe,10}^D = 0,8$$

$$C_{pe,10}^E = -0,5$$

Hodnoty súčiniteľa vnútorného tlaku  $C_{pi}$

$$C_{pi} = 0,2$$

$$C_{pi} = -0,3$$

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi} = 0,2$

$$W_K^D = 0,838 * (0,8 - 0,2) = 0,5028 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^E = 0,838 * (-0,5 - 0,2) = -0,587 \text{ kN/m}^2$$

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi} = -0,3$

$$W_K^D = 0,838 * (0,8 + 0,3) = 0,922 \text{ kN/m}^2$$

$$W_K^E = 0,838 * (-0,5 + 0,3) = -0,168 \text{ kN/m}$$

Pre transformáciu z plošného zaťaženia na líniové do 2D modelu rámu v programe SCIA som tieto hodnoty pre násobiť zaťažovacou šírkou na ktorú bude pôsobiť toto zaťaženie.

Zaťažovacia šírka

$$b = 6,75 \text{ m}$$

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi} = 0,2$

$$W_K^D = 0,838 * (0,8 - 0,2) * 6,75 = 3,39 \text{ kN/m}$$

$$W_K^E = 0,838 * (-0,5 - 0,2) * 6,75 = -3,96 \text{ kN/m}$$

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi} = -0,3$

$$W_K^D = 0,838 * (0,8 + 0,3) * 6,75 = 6,22 \text{ kN/m}$$

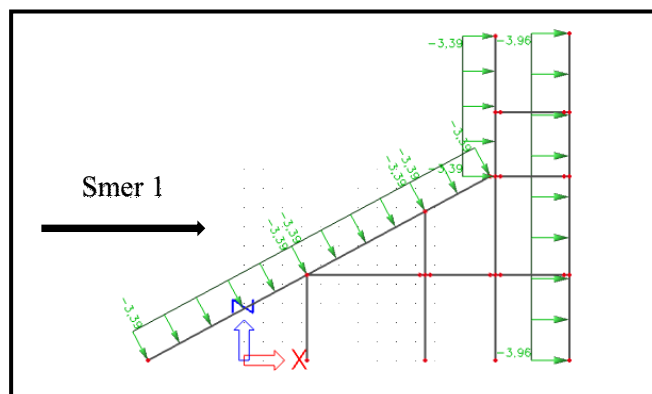
$$W_K^E = 0,838 * (-0,5 + 0,3) * 6,75 = -1,13 \text{ kN/m}$$

Grafické znázornenie zaťaženia na ŽB rámovej konštrukcii:

Pôsobenie zaťaženia od vetra je na šikmý prut zadané kolmo na strednicu prutu.

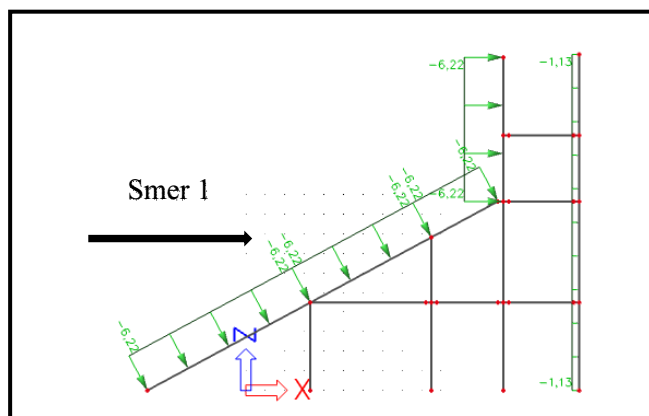


Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi}=0,2$  (smer vetra od hracej plochy)



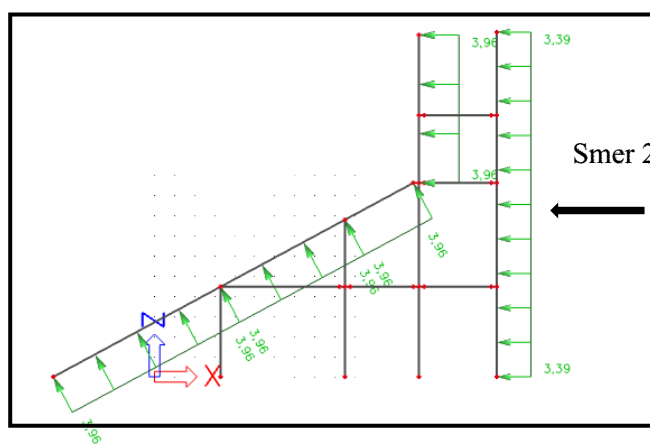
Obrázok 23 grafické znázornenie  $C_{pi}=0,2$  (smer vetra od hracej plochy)

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi}= -0,3$  (smer vetra od hracej plochy)



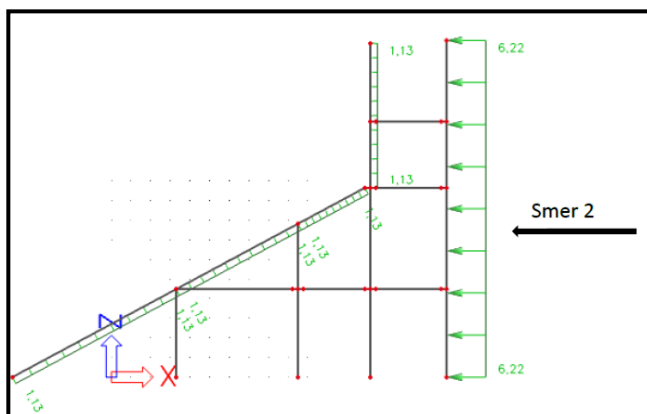
Obrázok 24 grafické znázornenie  $C_{pi}= -0,3$  (smer vetra od hracej plochy)

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi}= 0,2$  (smer vetra z parkoviska)



Obrázok 25 grafické znázornenie  $C_{pi}=+0,2$  (smer vetra z parkoviska)

Pre súčiniteľ vnútorného tlaku  $C_{pi} = -0,3$  (smer vetra z parkoviska) – rozhodujúci pre návrh



Obrázok 26 afické znázornenie  $C_{pi} = -0,3$  (smer vetra z parkoviska)

### 2.2.2. Stále zaťaženie

V pôvodnom objekte sú stropy navrhnuté z filigránových keramických dosiek a následnou nadbetonávkou z betónu C30/37. V mojej práci som navrhol stropy ako spojité ŽB dosky. Skladbu stropov som rozpísal kvôli prehľadnosti v tabuľke. (viz tab. 1,2 ,3 a 6). Povrchová úprava podláh pre objekty s takouto funkciou, musí spĺňať mechanickú odolnosť, preto je zväčša volená epoxidová úprava podlahy s rôznymi výstužami pre jej zvýšenú tvrdosť a pružnosť zároveň.

Stropná doska 3NP

skladba stropu 3NP- VIP zóny	výpočet	qk [kN/m <sup>2</sup> ]	γM	qd [kN/m <sup>2</sup> ]
Fatrafol hydroizolačná fólia tl.2mm(1200kg/m <sup>3</sup> )	0,002*12	0,024	1,350	0,032
tepelná izolácia EPS tl.40mm(30kg/m <sup>2</sup> )	0,04*0,30	0,012	1,350	0,016
parozábrana (1kg /m <sup>2</sup> )	0,010	0,010	1,350	0,014
ŽB doska 200mm (2500kg/m <sup>2</sup> )	25*0,20	5,000	1,350	6,750
sterková omietka 5mm (1800kg/m <sup>2</sup> )	0,005*18	0,090	1,350	0,122
<b>suma</b>		<b>5,136</b>		<b>6,934</b>

Tabuľka 1 stále zaťaženie doska 3NP

Stropná doska 2NP

skladba stropu 2NP	výpočet	qk [kN/m <sup>2</sup> ]	γM	qd[kN/m <sup>2</sup> ]
Atemit PTQ epoxidbetónová priemyselná podlaha 6mm (1900kg/m <sup>3</sup> )	0,006*19	0,114	1,350	0,154
samonivelačná stierka 2mm(5kg/m <sup>2</sup> )	0,050	0,050	1,350	0,068
bet. Mazanina c16/20 80mm (2300kg/m <sup>3</sup> )	0,055*23	1,265	1,350	1,708
poistná hyroizolácia A500H	0,010	0,010	1,350	0,014
tepelná izolácia EPS 30kg/m <sup>3</sup> . 40mm	0,04*0,30	0,012	1,350	0,016
ŽB doska 200mm (2500kg/m <sup>2</sup> )	25*0,20	5,000	1,350	6,750
<b>suma</b>		<b>6,451</b>		<b>8,709</b>

Tabuľka 2 stále zaťaženie doska 2NP

## Stropná doska 1NP

skladba stropu 1 NP	výpočet	qk [kN/m <sup>2</sup> ]	γM	qd[kN/m <sup>2</sup> ]
Atemit PTQ epoxidbetónová priemyselná podlaha 6mm (1900kg/m <sup>3</sup> )	0,006*19	0,114	1,350	0,154
samonivelačná stierka 2mm(5kg/m <sup>2</sup> )	0,050	0,050	1,350	0,068
bet. Mazanina c16/20 80mm (2300kg/m <sup>3</sup> )	0,055*23	1,265	1,350	1,708
poistná hyroizolácia A500H	0,010	0,010	1,350	0,014
tepelná izolácia EPS 30kg/m <sup>3</sup> . 40mm	0,04*0,30	0,012	1,350	0,016
ŽB doska 200mm (2500kg/m <sup>2</sup> )	25*0,20	5,000	1,350	6,750
<b>suma</b>		<b>6,451</b>		<b>8,709</b>

Tabuľka 3 stále zaťaženie doska 1NP

## Zaťaženie tribúnova betónová lavica

tribúnové lavice z betónu	Výpočet	qk [kNm <sup>2</sup> ]	γM	qd[kN/m <sup>2</sup> ]
výška a šírka stupňa žb 600mm x 660mm tl.150mm (2500kg/m <sup>3</sup> ),23 stupňou	0,15*(0,6+0,66)*25*23/19,32	37,969	1,350	51,258
PUR stierka 2,5mm (2,5 kg/m <sup>2</sup> )	0,025	0,025	1,350	0,034
<b>suma</b>		<b>37,994</b>		<b>51,292</b>

Tabuľka 4 stále zaťaženie tribúnova ŽB lavica

## Zaťaženie líniové

Líniové zaťaženie	Výpočet	qk [kN]	γM	qd[kN/m]
ŽB prievlak 400 x 500mm	0,4*0,5*25	5,000	1,350	6,750
ŽB tribúnový šikmý nosník 400 x 650mm	v kapitole "VÝPOČET VNÚTORNÝCH SÍL"	9,620	1,350	12,987

Tabuľka 5 Líniové zaťaženia na konštrukciu

## 2.2.3. Úžitné zaťaženie

Hodnoty rovnomerného úžitného zaťaženia sa neuvažujú súčasne so sústredeným zaťažením Q<sub>k</sub>. Sústredené zaťaženie sa používa na overenie lokálnych účinkov a uvažovalo by sa pôsobenie tohto zaťaženia na ploche štvorca s rozmerom strany 50mm. Do tabuľky ho vyjadším ale ďalej sním nebudem uvažovať do modelu a ani do výpočtov.

Úžitné zaťaženie	qk [kN/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>k</sub> [kN]	γM	qd[kN/m <sup>2</sup> ]
H strechy neprístupné s výnimkou bežnej údržby a opravy	0,75	1	1,5	1,125
C5 zhromažďovacie plochy	5	4,5	1,5	7,5

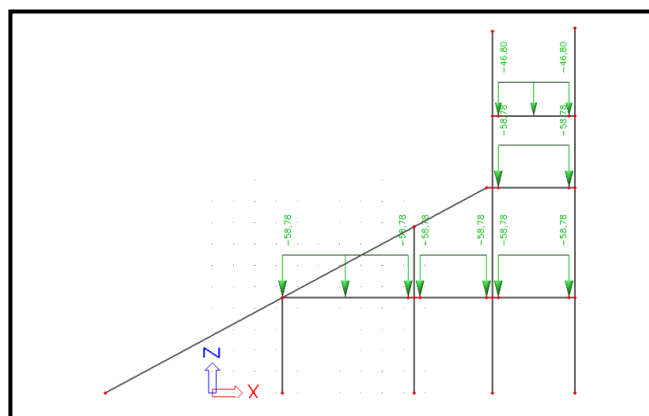
Tabuľka 6 úžitné zaťaženia

### 2.3. Zaťažovacie stavy

Zaťaženia budem aplikovať na vybraný úsek konštrukcie. Táto časť konštrukcie bude najviac zaťažená, je to časť s najväčšou zaťažovacou šírkou.

Všetky plošné zaťaženia v  $\text{kN/m}^2$  som prepočítal na zaťažovaciu šírku 6,75 m (rozpon rámov vyšetrovanej časti) a následne tieto hodnoty v  $\text{kN/m}$  vložil do zaťažovacích stavov do 2D modelu v program SCIA.

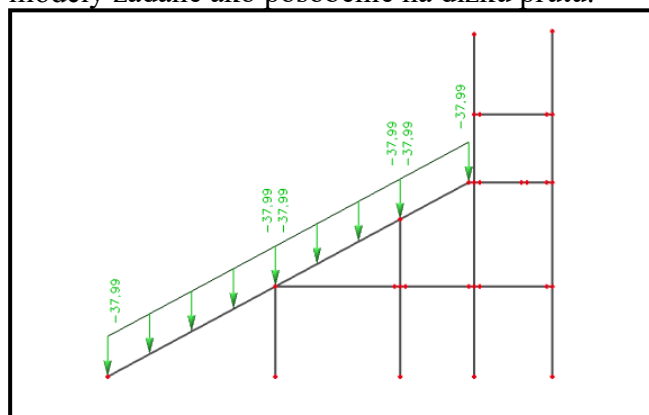
#### Stále zaťaženie na prievlaky od ŽB dosiek a skladby podlahy/strop



Obrázok 27 stále zaťaženie ŽB konštrukcia - od stropov, dosiek a podláh

#### Zaťaženie od tribúnovej lavice z betónu

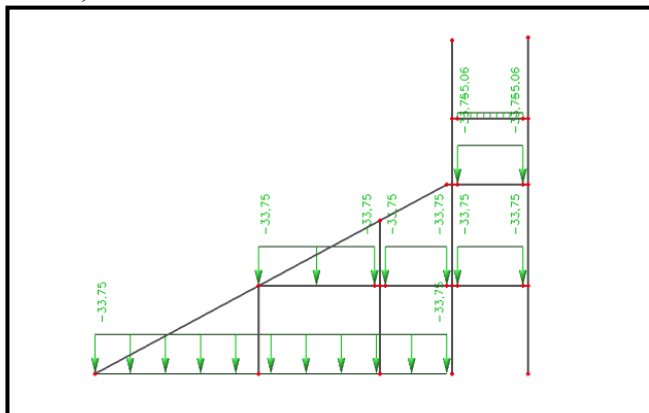
Toto zaťaženie bude v modeli zadané ako pôsobenie na dĺžku prutu.



Obrázok 28 stále zaťaženie ŽB konštrukcie - od tribúnovej lavice

### Úžitné zaťaženie

Pôsobenie od zhromažďovania ľudí na šikmom nosníku pôsobí ako priemet zaťaženia na šikmý nosník. (viď obr.29)



Obrázok 29 zaťaženie na ŽB konštrukciu - zhromažďovanie ľudí, kategória C5

### Zaťaženie do stĺpov od reakcií zo strešnej konštrukcie

Toto prenesené zaťaženie budú reprezentovať 2 zvislé a 2 vodorovné sily. Budú to výsledné reakcie do podpôr v mieste uloženia strešnej konštrukcie na stĺpy pomocou kĺbového pripojenia. Reakcie  $R_{az,1}$ ,  $R_{ax,1}$  do stĺpu S3 a  $R_{bz,2}$ ,  $R_{bx,2}$  do stĺpu S4 (označenie stĺpov v kapitole 4 „výpočet vnútorných síl - stĺpy“ tejto práce viď obr.46)

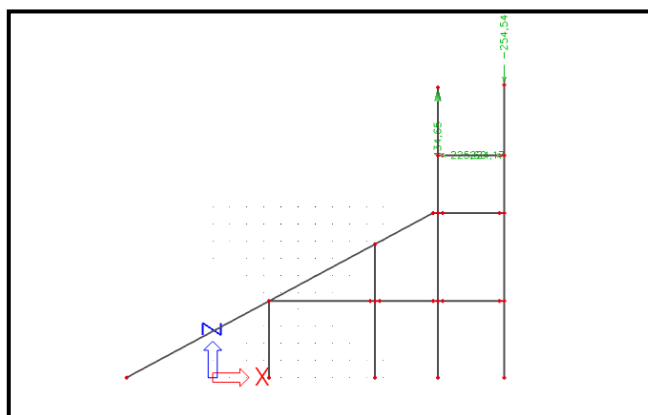
Reakcie od rozhodujúcej kombinácie zaťaženia dopočítané v programe SCIA.

$$R_{az,1} = 434,65 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -254,54 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -224,17 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 225,60 \text{ kN}$$



Obrázok 30 pôsobenie od strešného plášťa, hodnoty maximálnych reakcií v mieste podopretia

## 2.4. Kombinácia zaťažení

Norma ČSN EN 1990- zásady navrhovania konštrukcií [1] stanovuje ako rozhodujúci zaťažovací stav na konštrukciu ako kombináciu všetkých zaťažovacích stavov, u ktorých je predpoklad že na konštrukciu budú pôsobiť súčasne.

Tieto kombinácie budú vždy zahŕňať hlavné premenné zaťaženia v návrhovej hodnote a návrhové kombinačné hodnoty vedľajších premenných zaťažení.

Ako výsledná kombinácia sa vyberie nepriaznivejšia z týchto dvoch výrazov. Vedie k hospodárnejšiemu návrhu konštrukcie ako pri výpočte zo vzorca bez súčiniteľa  $\psi_0$  (pre hlavné premenné zaťaženie) alebo redukčného súčiniteľa (pre stále zaťaženie).

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.11)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2.12)$$

$\xi$  je redukčný súčiniteľ pre nepriaznivé stále zaťaženie G (pre ČR  $\xi = 0,85$ )

$\gamma_G$  a  $\gamma_Q$  sú súčinitele na zvýšenie hodnôt charakteristického zaťaženia na hodnoty návrhové

$Q_{k1}$  ako hlavné premenlivé zaťaženie

$Q_{k2}$  ako ďalšie závažné premenlivé zaťaženie

Hodnoty súčiniteľa pre premenlivé zaťaženie pre kategóriu C- zhromažďovacie plochy

$$\psi_0 = 0,7$$

Hodnoty súčiniteľa pre zaťaženie vetrom

$$\psi_0 = 0,6$$

Celkovo som namodeloval 12 zaťažovacích stavov na strešnú konštrukciu a z nich som vygenerovaných 8 obálok kombinácii podľa ČSN EN 1990 príloha A1 a A2 typ EN- MSÚ (STR/GEO). Ako rozhodujúca pre pôsobenie najväčších reakcií bola nakoniec kombinácia s kľúčom kombinácie:

$$(1,35 * \text{vlastná tiaž} + 1,35 * \text{strešný plášť}) + 1,50 * \text{sneh} + 1,35 * 0,6 * \text{vietor} (180^\circ + C_{pe}, -C_{pi})$$

Pri 2D modely železobetónovej konštrukcie som namodeloval taktiež 8 zaťažovacích stavov a vygeneroval 8 obálok kombinácií podľa ČSN EN 1990 príloha A1 a A2 typ EN- MSÚ (STR/GEO). Ako rozhodujúce pre návrh stĺpov boli kombinácie podľa kombinačného kľúča podrobnejšie rozpísané v kapitole 4. „Výpočet vnútorných síl.“.

Pre overenie maximálnych reakcií v mieste podopretia na stĺpoch železobetónovej konštrukcie som urobil výpis reakcií od vlastných kombinácií jednotlivých zaťažovacích stavov. A to premenlivého zaťaženia v plnej hodnote v kombinácii s vlastnou tiažou konštrukcie.

#### Vlastná tiaž + stále zaťaženie strešného plášťa

$$R_{az,1} = 105,4 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -57,93 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -54,92 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 54,92 \text{ kN}$$

#### Vlastná tiaž + strešný plášť + sneh

$$R_{az,1} = 253,82 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -145,78 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -131,15 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 131,15 \text{ kN}$$

#### Vlastná tiaž + strešný plášť + vietor (smer 0° + $c_{pi}$ , + $c_{pe}$ )

$$R_{az,1} = 105,40 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -57,93 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -54,92 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 54,92 \text{ kN}$$

#### Vlastná tiaž + strešný plášť + vietor (smer 0° + $c_{pi}$ , - $c_{pe}$ )

$$R_{az,1} = 165,26 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -89,83 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -82,01 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 82,01 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 0° -c<sub>pi</sub>, +c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = 105,40 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -57,93 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -54,92 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 54,92 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 0° -c<sub>pi</sub>, -c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = 109,36 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -57,93 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -55,49 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 55,49 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 180° +c<sub>pi</sub>, +c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = -59,64 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = 105,40 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -55,05 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 54,92 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 180° -c<sub>pi</sub>, +c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = 105,40 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -57,93 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -54,92 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 54,92 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 180° -c<sub>pi</sub>, -c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = 120,08 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -68,53 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -62,90 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 63,14 \text{ kN}$$

Vlastná tiaž+ strešný plášť + vietor (smer 180° +c<sub>pi</sub>, -c<sub>pe</sub>)

$$R_{az,1} = 182,87 \text{ kN}$$

$$R_{bz,2} = -107,44 \text{ kN}$$

$$R_{ax,1} = -94,56 \text{ kN}$$

$$R_{bx,2} = 96,16 \text{ kN}$$



Tieto kombinácie nie sú ďalej zahrnuté vo výpočte. Pre rozhodujúci zaťažovací stav od kombinácie bol zvolený podľa vzťahu (2.11) podľa ČSN EN 1990. Postupným vypísaním jednotlivých kombinácií od vlastnej tiaže a hodnoty pôsobenia plného premenného zaťaženia, že ani jedna takáto kombinácia mi nevyvodí väčšie reakcie do podpôr ako normou udávaná kombinácia:

$$(1,35 * \text{vlastná tiaž} + 1,35 * \text{strešný plášť}) + 1,50 * \text{sneh} + 1,35 * 0,6 * \text{vietor} (180^\circ + C_{pe}, -C_{pi})$$

### 3. Výpočet vnútorných síl

#### 3.1. Stropné dosky

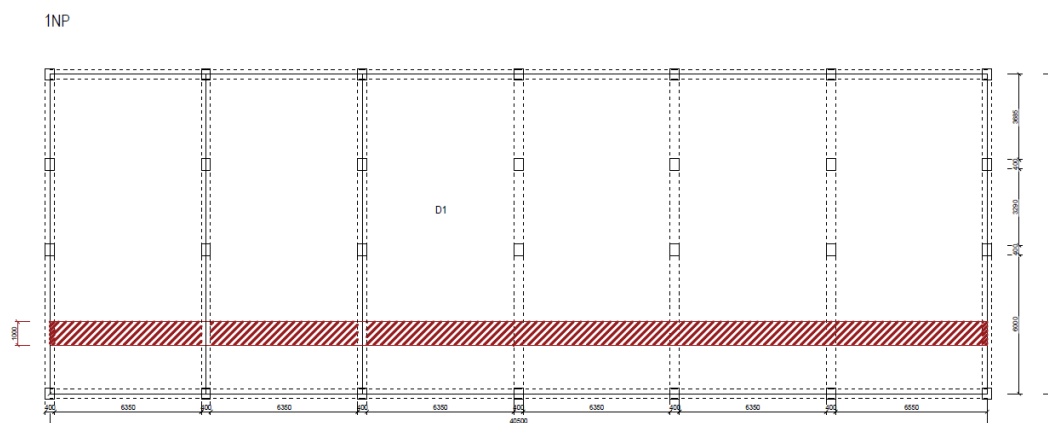
##### 3.1.1. Stropná doska D1

Žb doska je navrhnutá ako spojitá cez 6 vybraných polí, uložené na prievlakoch. Tento dilatačný úsek je oddelený zdvojením stĺpov na začiatku a na konci. Na konštrukcii sú takéto úseky 3. Označenie stropnej dosky pre 1.NP je D1.

Pôdorysné rozmery dosky D1 sú

14,175 m x 40,500m

Grafické znázornenie 1NP- dosky D1



Obrázok 31 Pôdorys dosky D1

Pôsobenie zaťaženia je konštantné po celej ploche 1.NP. Pôsobí ako rovnomerné od zaťaženia stálego a premenného kategórie C5 zhromažďovacie plochy. Hodnoty sú rozpísane v tabuľke 2.

Stále zaťaženie – ŽB doska+ skladba podlahy

$$g_{k,D1} = 6,45 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,D1} = 8,71 \text{ kN/m}^2$$

úžitné zaťaženie- Kategórie C5 zhromažďovacie plochy

$$q_{k,D1} = 5 \text{ kN/m}^2$$

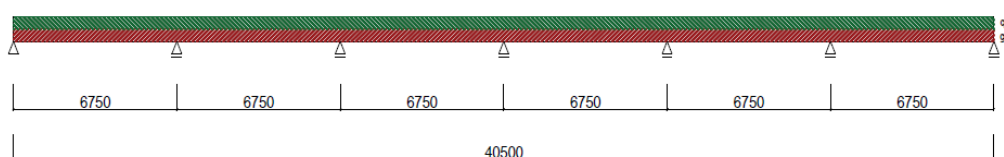
$$q_{d,D1} = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

Zaťažovacia šírka

$$b_{D,1}=1 \text{ m}$$

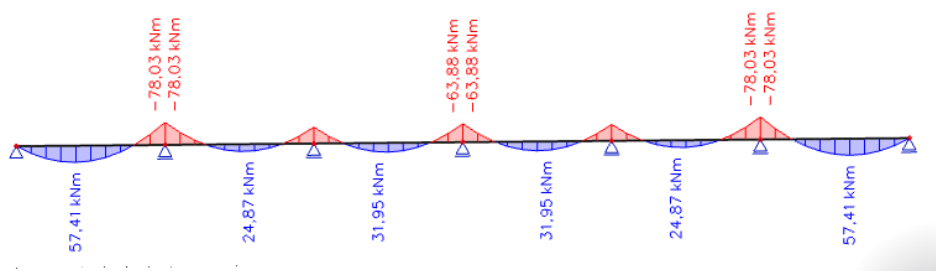
Výpočet rozhodujúcich ohybových momentov pre dosky 1NP som urobil na zjednodušenom modeli náhradného spojitého nosníka o 6 poliach. Pre návrh bude tento zjednodušený výpočet postačovať. Rozdiel oproti 3D modelu predpokladám maximálne do 20%.

Statické schéma dosky D1



Obrázok 32 statické schéma dosky D1

Ohybové momenty dopočítané programom SCIA dosky D1



Obrázok 33 vykreslenie ohybových momentov dosky D1

Výsledné maximálne momenty od kombinácie zaťažovacích stavov

$$M_{ed,D1}^{-} = -78,03 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,D1}^{+} = 57,41 \text{ kNm}$$

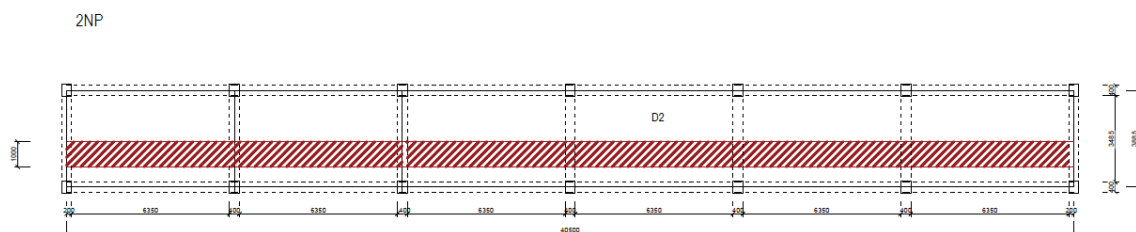
### 3.1.2. Stropná doska D2

Žb doska je navrhnutá ako spojitá cez 6 vybraných polí, uložené na prievlakoch. Tento dilatačný úsek je oddelený zdvojením stĺpov na začiatku a na konci. Na konštrukcii sú takéto úseky 3. Označenie stropnej dosky pre 2.NP je D2.

## Pôdorysné rozmery dosky D2

4,285 m x 40,50 m

## Grafické znázornenie dosky D2



Obrázok 34 Pôdorys dosky D2

Stále zaťaženie – ŽB doska+ skladba podlahy

$$g_{k,D2} = 6,45 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,D2} = 8,71 \text{ kN/m}^2$$

úžitné zaťaženie- Kategórie C5 zhromažďovacie plochy

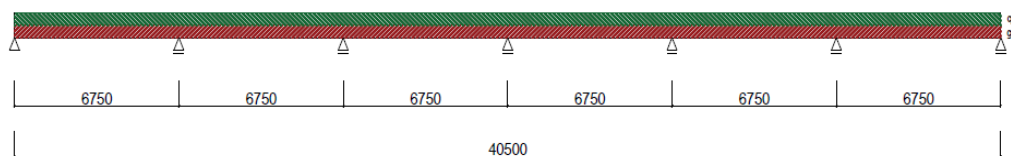
$$q_{k,D2} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,D2} = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

## Zaťažovacia šírka

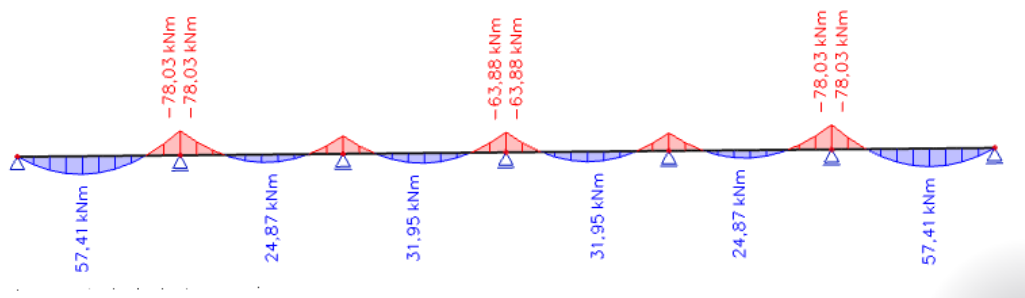
$$b_{D,2} = 1 \text{ m}$$

## Statické schéma dosky D2



Obrázok 35 statické schéma dosky D2

## Ohybové momenty dopočítané programom SCIA dosky D2



Obrázok 36 vykreslenie ohybových momentov dosky D2

Výsledné maximálne momenty od kombinácie zaťažovacích stavov

$$M_{ed,D2}^{-} = -78,03 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,D2}^{+} = 57,41 \text{ kNm}$$

### 3.1.3. Stropná doska D3

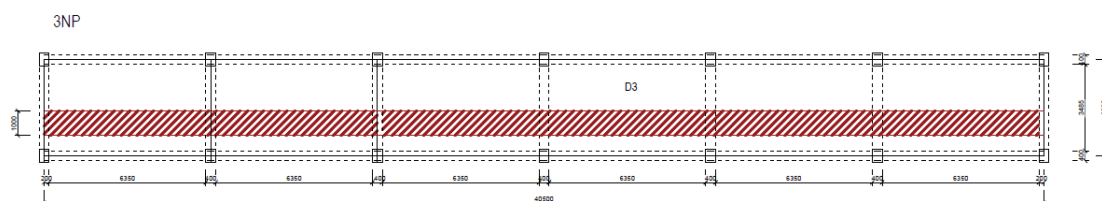
Žb doska je navrhnutá ako spojitá cez 6 vybraných polí, uložené na prievlakoch. Tento dilatačný úsek je oddelený zdvojením stĺpov na začiatku a na konci. Na konštrukcii sú takéto úseky 3. Označenie stropnej dosky pre 3.NP je D3.

Táto doska plní funkciu stropu nad priestormi VIP zóny spojenej s reštauráciou. Je zaťažená minimálnym premenným zaťažením, s uvažovaním opráv a údržby.

Pôdorysné rozmery dosky D3

$$4,285 \text{ m} \times 40,50 \text{ m}$$

Grafické znázornenie dosky D3



Obrázok 37 Pôdorys dosky D3

Stále zaťaženie – ŽB doska+ skladba podlahy

$$g_{k,D3} = 5,53 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{d,D3}=7,47 \text{ kN/m}$$

úžitné zaťaženie- Kategórie H neprístupné s výnimkou údržby a opráv

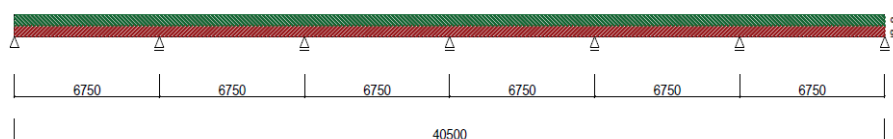
$$q_{k,D3}=0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,D3}= 1,125 \text{ kN/m}^2$$

Zaťažovacia šírka

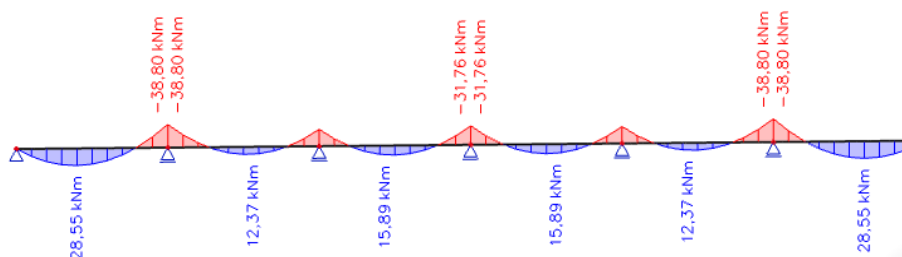
$$b_{D3}=1 \text{ m}$$

Statické schéma dosky D3



Obrázok 38 statické schéma doska D3

Ohybové momenty dopočítané programom SCIA



Obrázok 39 vykreslenie ohybových momentov doska D3

Výsledné maximálne momenty od kombinácie zaťažovacích stavov pre dosku D5

$$M_{ed,D3}^{-} = -38,80 \text{ kNm}$$

$$M_{ed,D3}^{+} = 28,55 \text{ kNm}$$

### 3.2.ŽB prievlak

Statický model prievlakov uvažujeme ako prosto podoprené. Sú uložené na malé konzolky priebežných stĺpov klbovým spojom. Sú uložené vždy len od stĺpu po stĺp. Toto uloženie nám zabráni v pohybe prievlaku vodorovným a zvislým smerom, pootočenie je ale možné.

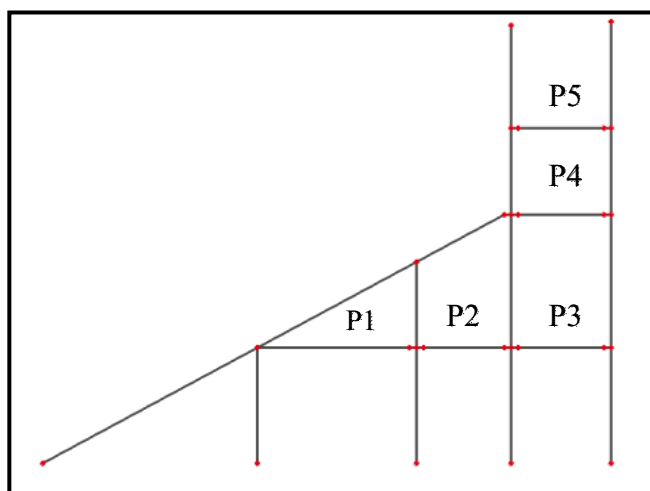
Vo vybranom úseku konštrukcie bude 5 prievlakov P1, P2, P3, P4, P5.

Dĺžky prievlakov

P1= 5,95 m

P2= 3,190 m

P3=P4=P5= 3,385 m



Obrázok 40 označenie prievlakov

Rozpis zaťaženia je prehľadne rozpísaný v tabuľke 1 až 4. tejto práce.

#### 3.2.1. Prievlak P1, P2,P3 a P4

Stále zaťaženie od dosky a podlahy

$g_{k,D1}=6,45 \text{ kN/m}^2$

úžitné – kategórie C5 zhromažďovacie plochy

$q_{k,D1} = 5,00 \text{ kN/m}^2$

Vlastná tiaž prievlaku (400mm x 500m)

$g_{k, P1}= 5,00 \text{ kN/m}$

Zaťažovacia šírka

$$b_{p1} = 6,75 \text{ m}$$

Výpočet vnútorných síl prievlaku som urobil na náhradnom modeli prostého nosníka. Aby som plošné zaťaženie od stropnej dosky a vrstiev podlahy vyjadril ako líniové zaťaženie, prenášobil som tieto hodnoty príslušnou zaťažovacou šírkou.

Kombinácia zaťaženia

$$(1,35 \cdot g_{k,D1} + 1,5 \cdot q_{k,D1}) \cdot b + 1,35 \cdot g_{k,P1} \quad (3.1)$$

$$(1,35 \cdot 6,45 + 1,5 \cdot 5) \cdot 6,750 \text{ m} + 1,35 \cdot 5 = 16,209 \cdot 6,750 + 6,75 = 116,16 \text{ kN/m}$$

### 3.2.2. Prievlak P5

Stále od dosky a podlahy

$$g_{k,D3} = 5,136 \text{ kN/m}^2$$

úžitné – kategórie H strechy neprístupné

$$q_{k,D3} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

Vlastná tiaž trámu (500mm x 400m)

$$g_{k,P5} = 5,00 \text{ kN/m}$$

$$g_{d,P5} = 6,75 \text{ kN/m}$$

Zaťažovacia šírka

$$b = 6,75 \text{ m}$$

Výpočet vnútorných síl prievlaku vypočítam na náhradnom modeli a aby som plošné zaťaženie od stropnej dosky a vrstiev podlahy vyjadril ako líniové zaťaženie, prenášobím tieto hodnoty príslušnou zaťažovacou šírkou.

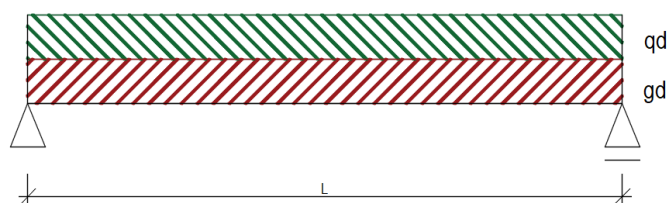
Kombinácia zaťaženia

$$(1,35 \cdot g_{k,D3} + 1,5 \cdot q_{k,D3}) \cdot b + 1,35 \cdot g_{k,P5}$$

$$(1,35 \cdot 5,136 + 1,5 \cdot 0,75) \cdot 6,750 \text{ m} + 1,35 \cdot 3,5 = 8,059 \cdot 6,750 + 6,75 = 61,15 \text{ kN/m}$$



## Statické schéma

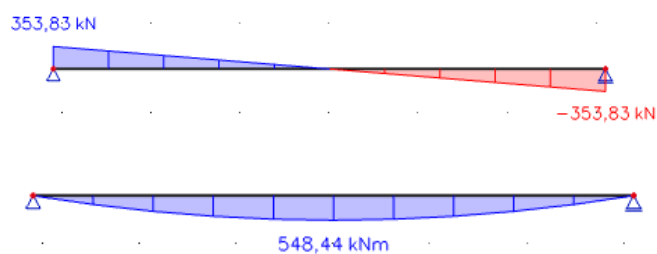


Obrázok 41 statické schéma prievlakov

Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl**Prievlak P1:**

$V_{ed} = 353,83 \text{ kN}$

$M_{ed}^+ = 548,44 \text{ kNm}$

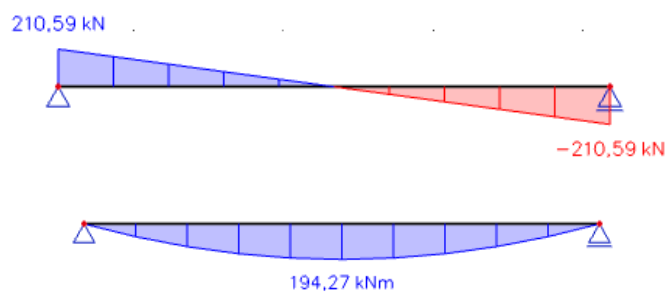


Obrázok 42 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P1

**Prievlak P2:**

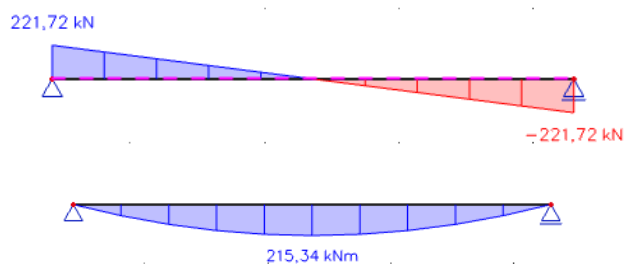
$V_{ed} = 210,59 \text{ kN}$

$M_{ed}^+ = 194,27 \text{ kNm}$



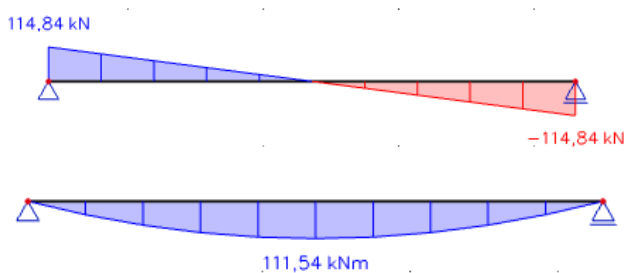
Obrázok 43 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P2

**Prievlak P3 a P4:**  $V_{ed} = 221,72 \text{ kN}$   $M_{ed}^+ = 215,34 \text{ kNm}$



Obrázok 44 Priebeg ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P3 a P4

**Prievlak P5 :**  $V_{ed} = 114,84 \text{ kN}$   $M_{ed}^+ = 111,54 \text{ kNm}$

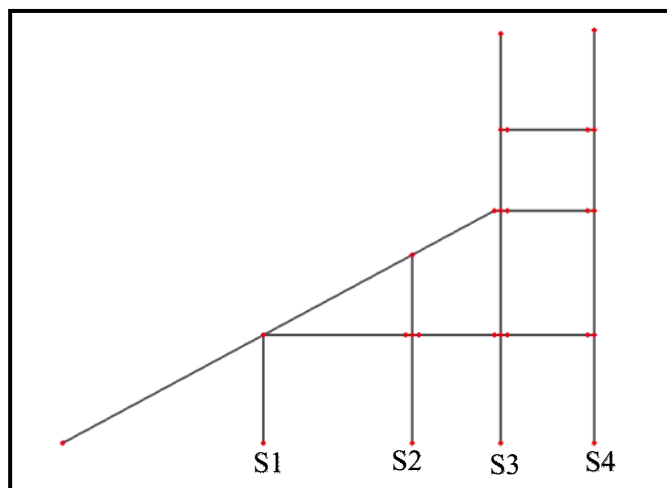


Obrázok 45 Priebeg ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P5

### 3.3. Stĺpy

Zaťažovacie stavy na ŽB rámovú konštrukciu sú podrobne rozpísane v kapitole 3 „výpočet zaťaženia“ tejto práce. Vlastná tiaž nosných prvkov v 2D modeli bola vypočítaná programom SCIA.

Označenie stĺpov S1, S2, S3, S4 (viď obr.46). Stĺp S1 je najkratší, má dĺžku 4,482m a je len cez jedno podlažie. Stĺp S2 je priebežný do 2NP s dĺžkou 8,2 m. Stĺp S3 a S4 sú priebežné do 3NP a je na ne prikotvená oceľová strešná konštrukcia, s dĺžkou 17,15 m. Stĺpy S2,S3 a S4 majú prefabrikované krátke konzolky, na ktoré je klbovo uložený prievlak.



Obrázok 46 označenie stĺpov

#### 3.3.1. Stĺp S1

Rozhodujúca kombinácia zaťaženia:

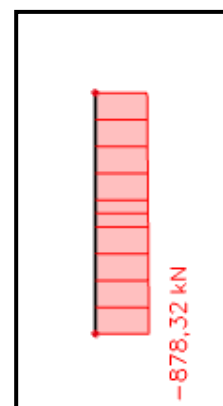
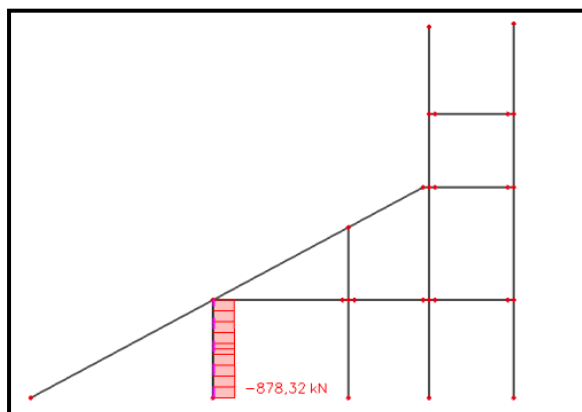
$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska} + 1,5 \cdot \text{Úžitné kategória C5} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{vietor Cpi} - 0,3 \text{ smer 1}$

$N_{ed,S1} = -878,32 \text{ kN}$

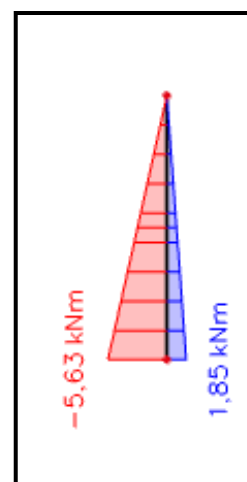
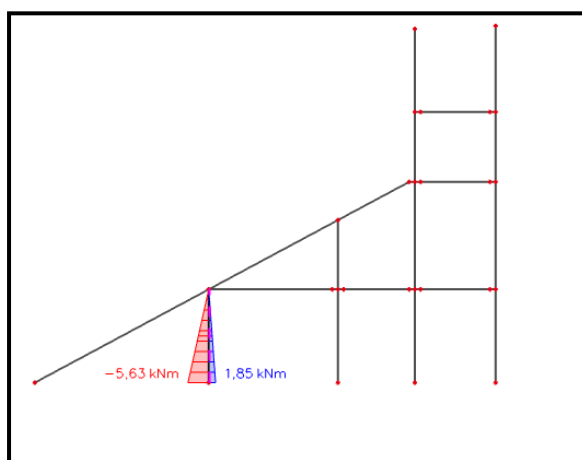
$M_{ed,S1} = -5,63 \text{ kNm}$

Grafické znázornenie

Normálové sily



Ohybové momenty



Obrázok 47 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S1

### 3.3.2. Stĺp S2

Rozhodujúca kombinácia zaťaženia:

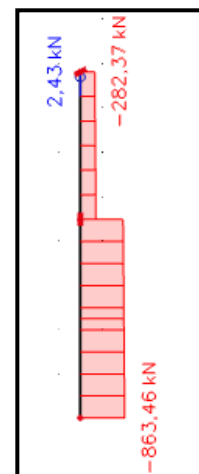
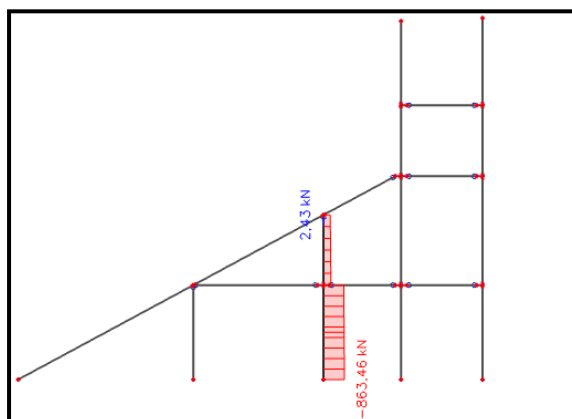
$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska} + 1,5 \cdot \text{Úžitné kategória C5} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{vietor Cpi 0,2 smer 2}$

$$N_{ed,S1} = -863,46 \text{ kN}$$

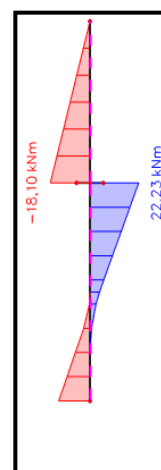
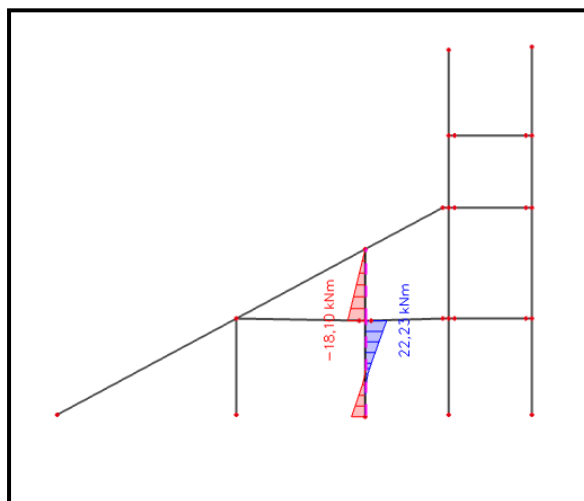
$$M_{ed,S1} = 22,23 \text{ kNm}$$

Grafické znázornenie

## Normálové sily



## Ohybové momenty



Obrázok 48 Priebeg ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S2

**3.3.3. Stĺp S3**

Rozhodujúca kombinácia zaťaženia:

Pre normálovú silu

$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska}$

Pre ohybový moment

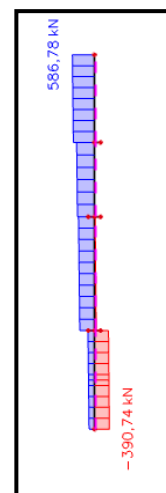
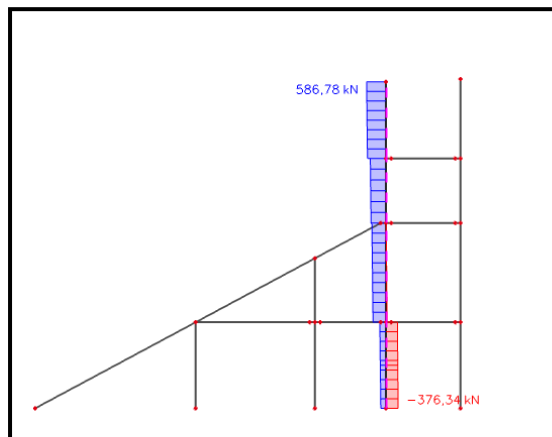
$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska} + 1,5 \cdot \text{Úžitné kategória C5} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{vietor } C_{pi} - 0,3 \text{ smer 2}$

$$N_{ed,S1} = -586,92 \text{ kN}$$

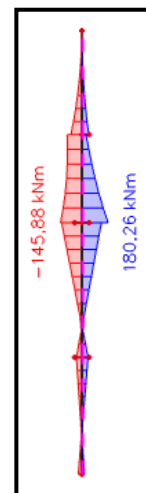
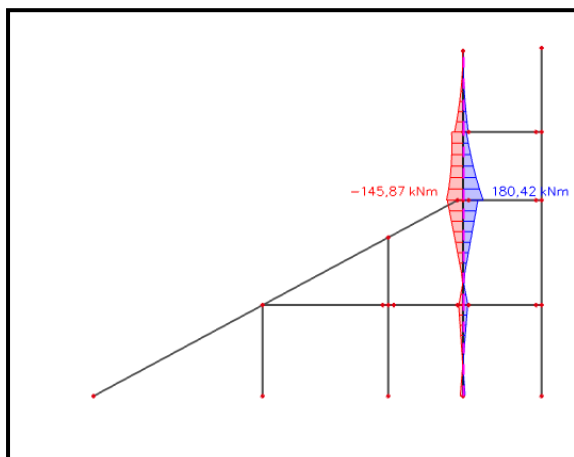
$$M_{ed,S1} = 180,42 \text{ kNm}$$

### Grafické znázornenie

Normálové sily



Ohybové momenty



Obrázok 49 Priebek ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S3

### 3.3.4. Stĺp S4

Rozhodujúca kombinácia zaťaženia:

Pre normálovú silu

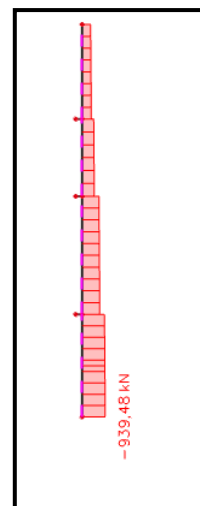
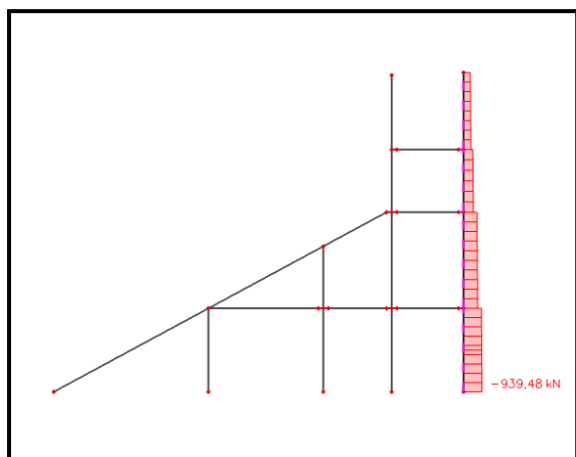
$$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska} + 1,5 \cdot \text{Úžitné kategória C5}$$

Pre ohybový moment

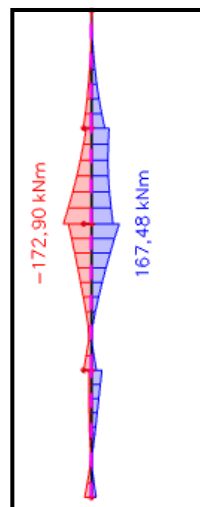
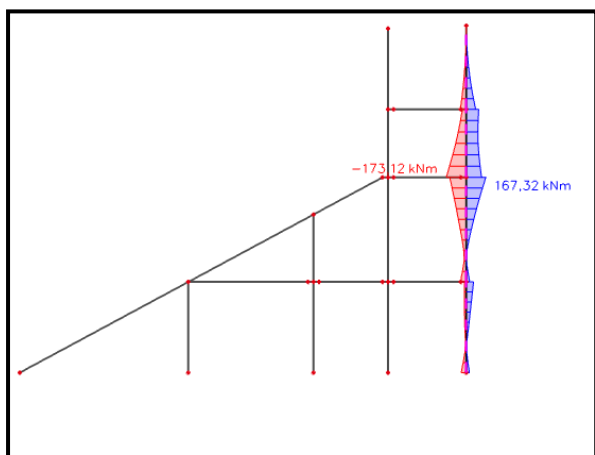
$1,35 \cdot \text{Vlastná tiaž} + 1,35 \cdot \text{strecha} + 1,35 \cdot \text{Podlaha} + \text{doska} + 1,5 \cdot \text{Úžitné kategória C5} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot \text{vietor Cpi 0,2 smer 1}$

Grafické znázornenie

Normálové sily



Ohybové momenty



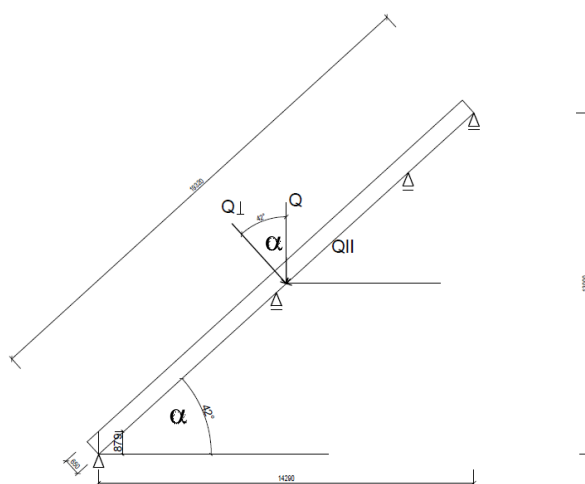
Obrázok 50 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S4

### 3.4.Šikmý nosník tribúny

Celková dĺžka nosníkov v tomto úseku je 19,32 m. Na ne sú uložené tribúnove lavice z betónu C35/50 XC3. Zaťaženie od tribúnových lavíc je znázornené v zaťažovacích stavoch v kapitole stálego zaťaženia tejto práce rovnako ako aj užitné zaťaženie od zhromažďovania ľudí a zaťaženie pôsobením pozdĺžneho vetra v dvoch smeroch.

Šikmý nosník má statické schéma spojitého nosníka. Výpočet výsledného pôsobenia zaťaženia, ktoré ďalej použijem do návrhu a posudku šikmého nosníka som spočítal v programe SCIA.

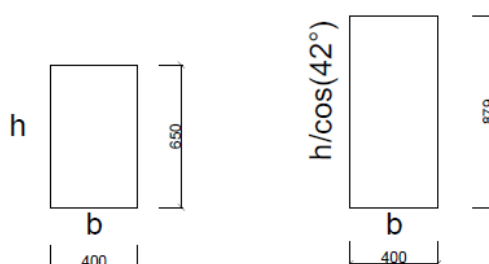
Pri ručnom výpočte pôsobenia zaťaženia od zhromaždenia ľudí a vlastnej tiaže nosníka ale musí byť uvažovaný zväčšený prierez šikmého nosníka. Kde pôvodná výška  $h$  je zväčšená na hodnotu  $h/\cos \alpha$ .



Obrázok 51 Zaťaženie pôsobiace šikmý prut

$$\cos \alpha = \cos(42^\circ) = 0,743$$

Prierez sa zväčší na hodnotu  $h/\sin \alpha = 650 \text{ mm} / 0,743 = 879 \text{ mm}$



Obrázok 52 zväčšený prierez  $h/\cos \alpha$



Výpočet vlastná tiaž šikmý nosník tribúny

Výpočet zaťaženia časť bez stupákov (fialová časť vid' obr. 53)

$$g_{\text{fialova}} = h / \cos \alpha \cdot b \cdot \gamma = 0,879 \cdot 0,4 \cdot 25 = 8,79 \text{ kNm} \quad (3.2)$$

Výpočet zaťaženia jedného stupáka (biela časť vid' obr. 53)

$$F_{\text{biela}} = (b_{\text{stupák}} \cdot h_{\text{stupák}} \cdot b \cdot \gamma) / 2 = (0,659 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 25) / 2 = 1,977 \text{ kN} \quad (3.3)$$

Výpočet zaťaženia celá časť so stupákmi (23 stupákov)

$$g_{\text{biela}} = (23 \cdot F_1) / l = (23 \cdot 2) / 19,320 \text{ m} = 2,35 \text{ kNm} \quad (\text{biela časť vid' obr. 53})$$

Vlastná tiaž šikmého tribúnového nosníka

$$g = g_{\text{fialova}} + g_{\text{biela}} = 8,79 + 2,35 = 11,14 \text{ kN/m}$$

Výpočet zaťaženia červenej časti tribúny betónová lavica (zelená časť vid' obr. 53)

Hrúbka

$$t = 150 \text{ mm}$$

Zaťažovacia šírka

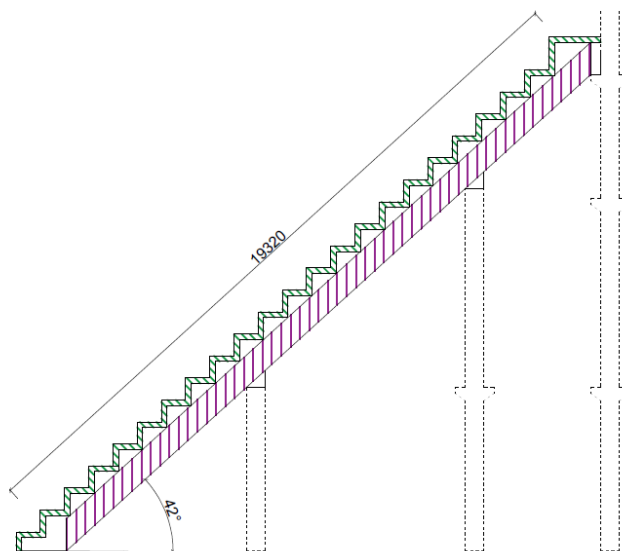
$$b_{w, \text{zelena}} = 6,75 \text{ m}$$

Zaťaženie jeden stupák

$$F_{\text{zelená}} = t \cdot (b_{\text{stupák}} + h_{\text{stupák}}) \cdot b_{w, \text{zelena}} \cdot g = 0,15 \cdot (0,66 + 0,6) \cdot 6,75 \cdot 25 = 31,89 \text{ kN/m} \quad (3.4)$$

Zaťaženie od tribúnovej betónovej lavice celá časť (23stupákov)

$$g_{\text{č}} = (23 \cdot F_{\text{zelená}}) / l = (23 \cdot 31,89) / 19,32 \text{ m} = 37,97 \text{ kN/m}$$



Obrázok 53 vlastná tiaž šikmý nosník farebné oblasti pre výpočet

V posudku môjho návrh pre únosnosť  $M_{rd}$  na ohybový moment ale použijem rozmery pôvodného prierezu  $b=400\text{mm}$  a  $h=650\text{ mm}$ . Ohybový moment pôsobí kolmo na osu nosníka a teda je potrebné overiť únosnosť prierezu s výškou kolmou na osu nosníka  $h=650\text{mm}$ .

Výsledný maximálny ohybový moment a maximálna normálová sila na šikmom nosníku sú spočítané programom SCIA.

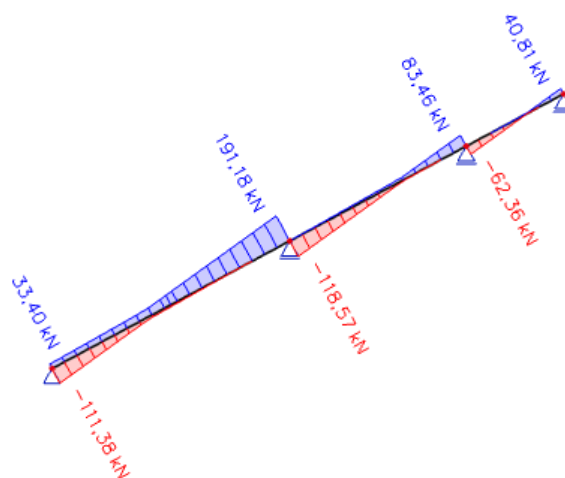
$$N_{ed} = 191,18 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 296,12 \text{ kN}$$

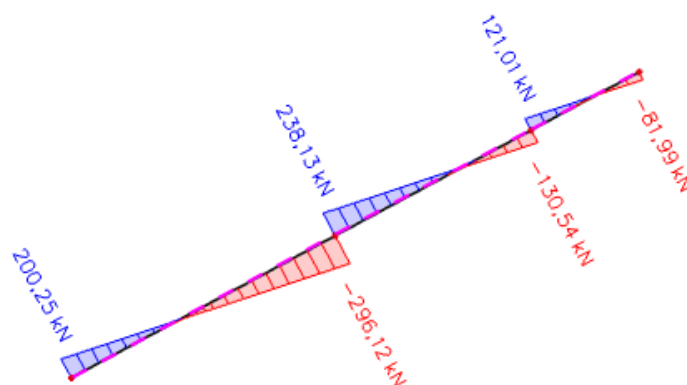
$$M_{ed}^{+} = +382,74 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^{-} = -452,41 \text{ kNm}$$

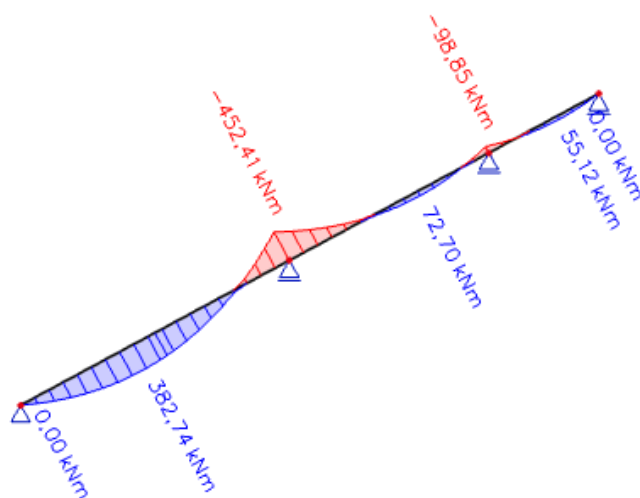
Pre návrh hlavnej pozdĺžnej výstuže, bude postačujúci posudok na únosnosť ohybového momentu a taktiež posudok strmienkov na namáhanie posúvajúcou silou. Maximálna normálová sila má vzhľadom k hodnote maximálnych ohybových momentov nad podporou a v poli veľmi malú hodnotu. Preto posudok na tlak a ťah pomocou interakčného diagramu nebude potrebný a s veľkou pravdepodobnosťou navrhnutá výstuž vyhoví.

Grafické znázornenieNormálové sily na šikmom nosníku tribúny

Obrázok 54 Priebeh normálových síl- šikmý nosník tribúny

Posúvajúce sily na šikmom nosníku tribúny

Obrázok 55 Priebeh posúvajúcich síl- šikmý nosník tribúny

Ohybové momenty na šikmom nosníku tribúny

Obrázok 56 Priebeh ohybových momentov- šikmý nosník tribúny

## 4. Návrh a posudok nosných prvkov

### Metóda medzných stavov

Je jednou z metód navrhovania stavebných konštrukcií. Okrem nej poznáme ďalšie dve všeobecne používané metódy. Metódu dovoľených namáhání a metódu stupňa bezpečnosti. Na posúdenie navrhnutých nosných prvkov v tejto práci budem postupovať podľa metódy - medzných stavov. Všetky postupy vychádzajú z normy ČSN EN 1992 – 1 – 1 navrhování betónových konstrukcí. Metódy medzných vzťahov vychádzajú z porovnávania návrhových hodnôt odolnosti konštrukcie s návrhovými zaťaženiami konštrukcie. Pri prekročení medzného stavu únosnosti MSÚ má za následok závažné porušenie objektu ako napr. porušenie celistvosti prvku konštrukcie (zlomenie, pretrhnutie), stratu stability alebo zrútenie. Pri prekročení medzného stavu použiteľnosti MSP nedochádza k ohrozeniu života užívateľov objektu, ale dochádza k nevratným deformáciám, ktoré ovplyvňujú vzhľad alebo neumožňujú naďalej využívať konštrukcie na rovnaký účel.

### Materiálové charakteristiky

Budú pre všetky návrhy nosných prvkov rovnaké.

Trieda betónu

C35/45

Charakteristická hodnota pevnosti betónu v tlaku

$f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$

Súčiniteľ spoľahlivosti betónu

$\gamma_c = 1,5$

Súčiniteľ pre dlhodobé účinky na pevnosť betónu v tlaku

$a_{cc} = 1$

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot a_{cc}}{a_c} = \frac{35 \cdot 1}{1,5} = 23,33 \text{ Mpa} \quad (4.1)$$

Návrhová hodnota pevnosti betónu v ťahu

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ Mpa}$$

Charakteristická pevnosť betónu v dostredenom ťahu- 5% kvantil hodnôt

$$f_{ctk\ 0,05} = 2,2 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota pevnosti betónu v dostredenom ťahu

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk\ 0,05} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = \frac{2,2 \cdot 1}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa} \quad (4.2)$$

Trieda oceli

B500B

Charakteristická hodnota pevnosti na mezi klzu

$$f_{yk} = 500 \text{ Mpa}$$

Súčiniteľ spoľahlivosti ocele

$$\gamma_s = 1,15$$

Návrhová hodnota medze klzu

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ Mpa} \quad (4.3)$$

## 4.1. Návrh a posudok stropných dosiek

### 4.1.2. Návrh a posudok pre dosku D1, D2

Navrhnutá hrúbka dosky

$$h_s = 200 \text{ mm} = 0,20 \text{ m}$$

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch Ø10/90 mm,  $A_s = 873 \text{ mm}^2$

Horný povrch Ø12/90 mm,  $A_s = 1257 \text{ mm}^2$

Rozdelovacia výstuž Ø 10/ 300 mm,  $A_s = 262 \text{ mm}^2$

**Dolná výstuž Ø10/90 mm,  $A_s = 873 \text{ mm}^2$**

Krytie výstuže

Stupeň vplyvu prostredia

XC1 (suché prostredie)

Konštrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(10; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 5 \text{ mm (montované konštrukcie)}$$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 200 - 20 - \frac{10}{2} = 175 \text{ mm} \quad (4.4)$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,D1}^+ = 57,41 \text{ kNm}$$

Nutná plocha výstuže

Dolná výstuž

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{57,41 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,75 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 838,37 \text{ mm}^2 \quad (4.5)$$

Návrh

Dolný povrch Ø10/90 mm,  $A_s = 873 \text{ mm}^2$ Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 873 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 379,56 \text{ kN} \quad (4.6)$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku dosky  $b=1\text{m}$ 

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{379,56}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,0203 \text{ m} \quad (4.7)$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 379,56 \cdot (175 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0203) = 63,34 \text{ kNm} \quad (4.8)$$

$$M_{ed}^+ = 57,41 \text{ kNm} < M_{rd} = 63,34 \text{ kNm}$$

návrh vyhovuje pre dané zaťaženie



Konštrukčné zásady

obmedzenie množstva hlavnej ťahovej výstuže

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d ; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 175 = 291 \text{ mm}^2 ; 0,0013 \cdot 1 \cdot 175 = 228 \text{ mm}^2\right) = 291 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 1 \cdot 200 = 200 \text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 200 = 8400 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 291 \text{ mm}^2 < A_s = 873 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2 \quad \text{návrh vyhovuje}$$

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0203}{0,175} = 0,116 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617 \quad (4.9) \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna osová vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s_{max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(10 \text{ mm}; 16 + 5 = 21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Súčinitele

$$k_1 = 1;$$

$$k_2 = 5 \text{ mm};$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s = 90 \text{ mm} < s_{max} = 250 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

rozdelovacia výstuž na 1m dosky

$$A_{s,r} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 873 = 174,6 \text{ mm}^2$$

Návrh pre rozdelovacu výstuž

$$\varnothing 10/300\text{mm}, A_r = 262 \text{ mm}^2$$

Maximálna vzdialenosť rozdeľovacej výstuže

$$S_{\max} = \min(3h; 400\text{mm}) = \min(3 \cdot 200 = 600\text{mm}; 400\text{mm}) = 400\text{mm}$$

$$S_r = 300\text{mm} < S_{\max} = 400\text{mm}$$

Podmienka vyhovuje

Kotviaca dĺžka hlavnej pozdĺžnej výstuže

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv tvaru prutu

$$\alpha_1$$

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv betónovej krycej vrstvy

$$\alpha_2$$

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv ovinutia priečnou výstužou

$$\alpha_3$$

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv jedného alebo viacej privarených priečných prútov v návrhovej kotevnej dĺžke

$$\alpha_4$$

Súčiniteľ vyjadrujúci vplyv tlaku kolmého na rovinu odštiepavania betónu v návrhovej kotviacej dĺžke

$$\alpha_5$$

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 0,7$  až  $1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa} \quad (4.10)$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa} \quad (4.11)$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 329,38 \text{ mm} \quad (4.12)$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 329,38 \text{ mm} = 330 \text{ mm} \quad (4.13)$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = 0,3 \cdot 299,85 ; 10 \cdot 10 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(98,81 \text{ mm} ; 100 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 330 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*

**Horná výstuž Ø12/90 mm,  $A_s = 1257 \text{ mm}^2$**

Krytie výstuže

Stupeň vplyvu prostredia

XC1

Konštrukčná trieda

S4

(objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 12 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(12; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 5 \text{ mm} \quad (\text{montované konštrukcie})$$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 15 + 5 = 20 \text{ mm}$$

### Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 20 - \frac{12}{2} = 174 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na hornom okraji M

$$M_{ed,D1} = -77,96 \text{ kNm}$$

Nutná plocha výstuže

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{77,96 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,183 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 1145 \text{ mm}^2$$

Návrh

$$\text{horný povrch Výstuž } \emptyset 12/90 \text{ mm, } A_s = 1257 \text{ mm}^2$$

### Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 546,52 \text{ kN}$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku dosky  $b = 1\text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{546,52}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,0293 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 546,52 \cdot (174 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0293) = 88,69 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = -77,96 \text{ kNm} < M_{rd} = 88,69 \text{ kNm}$$

*Návrh vyhovuje pre dané zaťaženie*

### Konštrukčné zásady

obmedzenie množstva hlavnej ťahovej výstuže

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max \left( 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d \right)$$

$$A_{s,min} = \max \left( 0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 174 = 289 \text{ mm}^2; 0,0013 \cdot 1 \cdot 174 = 226 \text{ mm}^2 \right) = 289 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 1 \cdot 200 = 200 \text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 200 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 289 \text{ mm}^2 < A_s = 1257 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2$$

Podmienka vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0293}{0,174} = 0,168 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

Maximálna osová vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(12 \text{ mm}; 16 + 5 = 21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s = 90 \text{ mm} < s_{\max} = 250 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

rozdelovacia výstuž na 1m dosky

$$A_{s,r} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 1257 = 251,4 \text{ mm}^2$$

Návrh pre rozdelovaciu výstuž

$$\varnothing 10 / 300 \text{ mm}, A_s = 262 \text{ mm}^2$$

Maximálna vzdialenosť rozdeľovacej výstuže

$$S_{\max} = \min(3h; 400 \text{ mm}) = \min(3 \cdot 200 = 600 \text{ mm}; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

$$S_r = 300 \text{ mm} < S_{\max} = 400 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Kotviaca dĺžka hlavnej pozdĺžnej výstuže

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,30 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 395,26 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 395,26 \text{ mm} = 400 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \sigma ; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 395,26 ; 10 \cdot 12 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(118,58 \text{ mm} ; 120 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 120 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 400 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 120 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*

Medzný stav použiteľnosti

Obmedzenie napätia

Ak napätie od charakteristickej kombinácie zaťaženia prekročí kritickú hodnotu môže spôsobovať vznik trhlín a tým môže obmedziť funkčnosť konštrukcie a znížiť jej trvanlivosť. Vznik pozdĺžnych trhlín od tlakového napätia je treba obmedziť. Ťahové napätie v betonárskej výstuži musí byť taktiež obmedzené aby sa predišlo vzniku trhlín a pomerných pretváraných deformácií.

Železobetónové dosky D1 a D2 sú uložené v oblasti vystavenej stupňa vplyvu počasia XC1 (suché prostredie). Tento výpočet sa teda realizovať nebude. Je potreba overiť výpočtom

iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach vystavených vplyvom prostredia XD, XF, XS (namáhané chloridmi, chloridmi z morskej vody alebo rozmrazovacími cyklami).

### Obmedzenie šírky trhlín

Pre železobetónové dosky pozemných stavieb hrúbky max 200mm, ktoré nie sú namáhané významným osovým ťahom pri ohybe po dodržaní konštrukčných zásad navrhovania betónových konštrukcií nie je nutné overovať výpočtom obmedzenie šírky trhlín.

Hrúbka dosky D1 a D2 je 200mm.

### Obmedzenie priehybu

Pokiaľ sú nosníky alebo dosky navrhnuté tak, že ich pomer rozpätia a účinnej výšky nespôsobia nadmerné priehyby. Netreba obmedzenie priehybu počítať.

Všetky tieto vzťahy sú odvodené pre výstuž s charakteristickou pevnosťou ocele  $f_{yk} = 500\text{MPa}$  (ČSN EN 1992 – 1 – 1)

Súčiniteľ zohľadňujúci nosný systém (spojité dosky vystužené v jednom smere)

$K = 1,3$

Referenčný stupeň vystuženia

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{35} = 0,00592 \quad (4.14)$$

Požadovaný stupeň vystuženia

$$\rho = \frac{A_{s,reg,rahanej\ výstuže}}{b \cdot d} = \frac{873 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,175} = 0,00479 \quad (4.15)$$

Medzní pomer rozpätia k účinnej výške

$$\frac{1}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{ak } \rho < \rho_0 \quad (4.16)$$

$$\frac{1}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{ak } \rho > \rho_0 \quad (4.17)$$

$$\rho = 0,00479 < \rho_0 = 0,00592$$



Medzný pomer

$$\frac{1}{d}_{medzný} = 1,3 \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{0,00592}{0,00479} + 3,2 \cdot \sqrt{35} \cdot \left( \frac{0,00592}{0,00479} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 37,36 \quad (4.18)$$

$$\frac{1}{d}_{skutočný} = \frac{6,750}{0,175} = 38,57$$

$$\frac{1}{d}_{medzný} = 37,36 < \frac{1}{d}_{skutočný} = 38,57 \quad \text{Podmienka nevyhoví}$$

Podmienka nevyhoví veľmi tesne. Z tohto dôvodu môžeme predpokladať, že presným výpočtom obmedzenia trhlín z normy ČSN EN 1992 -1-1 nám doska z hľadiska deformácie vyhoví.

#### 4.1.3. Návrh a posudok pre dosku D3

Navrhnutá hrúbka dosky

$$h_s = 200 \text{ mm} = 0,20 \text{ m}$$

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch Ø8/110 mm,  $A_s = 457 \text{ mm}^2$

Horný povrch Ø10/130 mm,  $A_s = 604 \text{ mm}^2$

Rozdeľovacia výstuž Ø 8/300 mm,  $A_s = 128 \text{ mm}^2$

**Dolná výstuž Ø8/110 mm,  $A_s = 457 \text{ mm}^2$**

Krytie výstuže

Stupeň vplyvu prostredia

XC3 (suché, stredne mokré prostredie)

Konstrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 25$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 8 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min} = \max(8; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 30 - \frac{8}{2} = 166 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,D1}^+ = 28,55 \text{ kNm}$$

Nutná plocha výstuže

Dolná výstuž

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}^+}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{28,55 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,166 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 439,52 \text{ mm}^2$$

Návrh

$$\text{Dolný povrch } \emptyset 8 / 110 \text{ mm}, A_s = 457 \text{ mm}^2$$

Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 457 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 198,70 \text{ kN}$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku dosky  $b = 1\text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{198,70}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,0106 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 198,70 \cdot (166 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0106) = 32,14 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^+ = 28,55 \text{ kNm} < M_{rd} = 32,14 \text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje pre dané zaťaženie

### Konstruktívne zásady

Obmedzenie množstva hlavnej ťahovej výstuže

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 166 = 276 \text{ mm}^2; 0,0013 \cdot 1 \cdot 166 = 216 \text{ mm}^2\right) = 276 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 1 \cdot 200 = 200 \text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 200 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = 276 \text{ mm}^2 < A_s = 457 \text{ mm}^2 < A_{s,\max} = 8000 \text{ mm}^2$$

návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,01064}{0,166} = 0,064 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

Maximálna osová vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max(k_1 \cdot \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(8 \text{ mm}; 16 + 5 = 21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s = 110 \text{ mm} < s_{\max} = 250 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

rozdelovacia výstuž na 1m dosky

$$A_{s,r} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 457 = 91,4 \text{ mm}^2$$

Návrh pre rozdelovaciu výstuž

$$\varnothing 8/300 \text{ mm}, A_s = 128 \text{ mm}^2$$

Maximálna vzdialenosť rozdeľovacej výstuže

$$S_{\max} = \min(3h; 400 \text{ mm}) = \min(3 \cdot 200 = 600 \text{ mm}; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

$$S_r = 300 \text{ mm} < S_{\max} = 400 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

### Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{8}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 263,50 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 263,50 \text{ mm} = 270 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \sigma ; 100 \text{ mm}) = 0,3 \cdot 263,50 ; 10 \cdot 8 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(79,05 \text{ mm} ; 80 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 270 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

**Horná výstuž Ø10/130mm,  $A_s = 604 \text{ mm}^2$**

Krytie výstuže

Stupeň vplyvu prostredia

XC3 (suché, stredne mokré prostredie)

Konštrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 25$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(10; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 5 \text{ mm}$$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min} + c_{dev} = 25 + 5 = 30 \text{ mm}$$

Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 200 - 30 - \frac{10}{2} = 165 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na vrchnom okraji nad podporou

$$M_{ed,D3} = -38,80 \text{ kNm}$$

Nutná plocha výstuže

Dolná výstuž

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{38,80 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,165 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 600,94 \text{ mm}^2$$

Návrh

$$\text{Dolný povrch } \emptyset 10 / 130 \text{ mm, } A_s = 604 \text{ mm}^2$$

Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 604 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 262,61 \text{ kN}$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku dosky  $b = 1\text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{262,61}{0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,0141\text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 262,61 \cdot (165 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0141) = 41,85\text{ kNm}$$

$$M_{ed} = -38,80\text{ kNm} < M_{rd} = 41,85\text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje pre dané zaťaženie

### Konstruktívne zásady

obmedzenie množstva hlavnej ťahovej výstuže

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,\min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 1 \cdot 165 = 275\text{ mm}^2; 0,0013 \cdot 1 \cdot 165 = 215\text{ mm}^2\right) = 275\text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 1 \cdot 200 = 200\text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 200 = 8000\text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = 275\text{ mm}^2 < A_s = 604\text{ mm}^2 < A_{s,\max} = 8000\text{ mm}^2$$

návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,01407}{0,165} = 0,0645 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

Maximálna osová vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s_{\max} = \min(2h; 250 \text{ mm}) = \min(2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}; 250 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}$$

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max(k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(10 \text{ mm}; 16 + 5 = 21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s = 130 \text{ mm} < s_{\max} = 250 \text{ mm}$$

*Podmienka*

*vyhovuje*

rozdelovacia výstuž na 1m dosky

$$A_{s,r} = 0,2 \cdot A_s = 0,2 \cdot 604 = 120,8 \text{ mm}^2$$

Návrh pre rozdelovaciu výstuž

$$\emptyset 8/300 \text{ mm}, A_s = 128 \text{ mm}^2$$

Maximálna vzdialenosť rozdeľovacej výstuže

$$S_{\max} = \min(3h; 400 \text{ mm}) = \min(3 \cdot 200 = 600 \text{ mm}; 400 \text{ mm}) = 400 \text{ mm}$$

$$S_r = 300 \text{ mm} < S_{\max} = 400 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$



Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{10}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 329,38 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 329,38 \text{ mm} = 330 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = 0,3 \cdot 329,38 ; 10 \cdot 10 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(98,81 \text{ mm} ; 100 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 330 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 100 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Medzný stav použiteľnosti

Obmedzenie napätia

Železobetónové doska D3 je uložená v oblasti vystavenej stupňu vplyvu počasia XC3 (stredne vlhké prostredie). Tento výpočet sa teda realizovať nebude. Je potreba overiť výpočtom iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach XD, XF, XS.

Obmedzenie šírky trhlín

Pre železobetónové dosky pozemných stavieb hrúbky max 200mm , ktoré nie sú namáhané významným osovým ťahom pri ohybe po dodržaní konštrukčných zásad navrhovania betónových konštrukcií nie je nutné overovať výpočtom obmedzenie šírky trhlín.

Hrúbka dosky D3 je 200mm.

Obmedzenie priehybu

Pokiaľ sú nosníky alebo dosky navrhnuté tak, že ich pomer rozpätia a účinnej výšky nespôsobia nadmerné priehyby. Netreba obmedzenie priehybu počítať.

Všetky tieto vzťahy sú odvodené pre výstuž s charakteristickou pevnosťou ocele  $f_{yk} = 500\text{MPa}$  (ČSN EN 1992 – 1 – 1)

Súčiniteľ zohľadňujúci nosný systém (spojité dosky vystužené v jednom smere)

$$K = 1,3$$

Referenčný stupeň vystuženia

$$\rho_0 = 10^{-3} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{35} = 0,00592$$

Požadovaný stupeň vystuženia

$$\rho = \frac{A_{s,reg, \text{táhaná výstuž}}}{b \cdot d} = \frac{439,52 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 0,165} = 0,00264$$

Medzní pomer rozpätia k účinnej výške

$$\frac{1}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{ak } \rho < \rho_0$$

$$\frac{1}{d} = K \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + 3,2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \quad \text{ak } \rho > \rho_0$$

$$\rho = 0,00264 < \rho_0 = 0,00592$$

potom medzný pomer

$$\frac{1}{d}_{\text{medzný}} = 1,3 \left[ 11 + 1,5 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{0,00592}{0,00264} + 3,2 \cdot \sqrt{35} \cdot \left( \frac{0,00592}{0,00264} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 73,83$$

$$\frac{1}{d}, \text{ skutočný} = \frac{6,750}{0,165} = 40,91$$

$$\frac{1}{d}, \text{ medzný} = 73,83 > \frac{1}{d}, \text{ skutočný} = 40,91 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Môžeme upustiť od presnejšieho výpočtu priehybov. Na doske za bežného namáhania nevzniknú nadmerné priehyby.

## 4.2. Návrh a posudok prievlakov

Podľa vypočítaných vnútorných síl vyvedených od zaťaženia navrhнем a posúdim 3 prievlaky. Prievlak P1 má najväčšiu dĺžku a preto vnútorné sily od pôsobiaceho zaťaženia vyvedie najnepriaznivejšie výsledky vnútorných síl. Prievlaky P2, P3 a P4 majú veľmi podobné hodnoty ich ohybových momentov a výsledných posúvajúcich síl, preto v tomto úseku bude navrhnutý jeden typ prievlaku. Prievlak P5 ako najmenej zaťažený s najpriaznivejšími hodnotami posúvajúcich síl a ohybových momentov navrhнем samostatne z dôvodu hospodárnosti konštrukcii.

### 4.2.1. Návrh a posudok pre prievlak P1

$h=500$  mm (pôvodná výška 350 mm, môj návrh navýšený o 150mm)

$b=400$  mm

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch  $\varnothing 28$ ;  $n=6$  ks  $A_s=3694$  mm<sup>2</sup>

Horný povrch  $\varnothing 16$ ;  $n=4$  ks,  $A_s=804$  mm<sup>2</sup>

Strmienky: štvorstrižné  $\varnothing 8$

Maximálny ohybový moment na spodnom okraji

$M_{ed}^+=548,44$  kNm

Maximálna posúvajúca sila

$V_{ed}=353,83$  kN

Stupeň vplyvu prostredia

XC1 (suché prostredie)

Konštrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

#### 1) Krytie výstuže – Strmienky

Strmienky: štvorstrižné  $\varnothing 8$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{minb} ; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add} ; 10\text{mm})$$

$$c_{min,sw} = \max(8; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

### 1) Krytie výstuže – hlavná pozdĺžna

Hlavná výstuž Ø28

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min,l} = \max(c_{minb} ; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add} ; 10\text{mm})$$

$$c_{min,l} = \max(28; 15; 10) = 28 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

$$c_{min,l} = 28 \text{ mm}$$

$$c_{min,sw} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \varnothing_{sw} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

najväčšia z hodnôt  $c_{min,2}$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min,l} + c_{dev} = 28 + 2 = 30 \text{ mm}$$

Hlavná výstuž pri hornom okraji

Žiadny záporný moment mi pri prostom uložení prefabrikovaného prievlaku nevzniká. Horná výstuž ale musí byť navrhnutá a mala by mať minimálne 25% plochy spodnej výstuže podľa navrhovania monolitických konštrukcií v prostom podopretí. Návrh pre tlačnú výstuž pri hornom povrchu pre prefabrikovaný prvok bude  $\varnothing 16$ ;  $n = 4$  ks,  $A_s = 804 \text{ mm}^2$ .

### Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 30 - \frac{28}{2} = 456 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,Pl}^+ = 548,44 \text{ kNm}$$

### Nutná plocha výstuže

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{548,44 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,456 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 3073,61 \text{ mm}^2$$

Doporučený počet profilov do šírky prievlaku 400mm

$$A_s = n \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4}$$

$$n = \frac{A_s \cdot 4}{\varnothing^2 \cdot \pi} = \frac{3073,61 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{\pi \cdot 0,032^2} = 5,61 = 6 \text{ ks}$$

Návrh

$$\varnothing 28 ; n = 6 \text{ ks } A_s = 3694 \text{ mm}^2$$

Overenie šírky prievlaku a počtu prutov

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{min} = \max (k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max (28 \text{ mm}; 16+5=21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 28 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

Svetlá vzdialenosť prutov

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 30 - 6 \cdot 28}{6 - 1} = 34,4 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s = 34,4 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

### Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3694 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 1606,08 \text{ kN}$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku prievlaku  $b = 0,4 \text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{1606,08}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,2151 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 1606,08 \cdot (456 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,2151) = 594,187 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^+ = 548,44 \text{ kNm} < M_{rd} = 594,187 \text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje

### Konštrukčné zásady

obmedzenie množstva hlavnej ťahovej výstuže

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,456 = 303 \text{ mm}^2; =\right)$$

$$A_{s,min} = \max(0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,456 = 237 \text{ mm}^2) = 303 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 500 = 200\,000 \text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 200\,000 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = 303 \text{ mm}^2 < A_s = 3694 \text{ mm}^2 < A_{s,\max} = 8000 \text{ mm}^2$$

Návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,21510}{0,456} = 0,471 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

### Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$



*Základná kotviaca dĺžka*

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{28}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 922,26 \text{ mm}$$

*Kotviaca dĺžka*

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 922,26 \text{ mm} = 930 \text{ mm}$$

*Minimálna kotviaca dĺžka*

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = 0,3 \cdot 930 ; 10 \cdot 22 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(276,679 \text{ mm} ; 280 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 280 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 930 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 280 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

*Návrh a posúdenie výstuže na šmyk - strmienkov***štvorstrižné Ø8mm***Maximálna posúvajúca sila*

$$V_{ed} = 353,83 \text{ kN}$$

*Zmenšená Ved na líc podpory (nebezpečné miesto porušenia na šmyk)*

$$\frac{V_{ed}}{\frac{l}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{(\frac{l}{2} - \frac{b}{2})}$$

$$\frac{353,83}{\frac{6,2}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{(\frac{6,2}{2} - \frac{0,4}{2})}$$

$$V_{ed, \text{ zmenšené}} = (353,83 / 3,1) \cdot 2,9 = 331 \text{ kN}$$

*Plocha výstuže strmienka*

$$A_{sw} = 4 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset}{4} = 4 \cdot \pi \cdot \frac{0,008^2}{4} = 201,06 \text{ mm}^2$$

*Rameno vnútorných síl*

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,456 = 0,4104 \text{ m}$$

*Uhol tlačeních diagonál*

$$\theta = 45^\circ$$

$$\cotg \theta = 1$$

Vzdialenosť medzi strmienkami

$$s_t = 0,12 \text{ m}$$

Návrhová medz klzu strmienkovej výstuže

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434,782 \text{ Mpa}$$

Maximálna únosnosť v šmyku

$$V_{rd,s} = A_{sw} \frac{1,0}{s_t} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 201,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 1 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 358,76 \text{ kN}$$

Súčiniteľ zohľadňujúci stav napätia v tlačennom páse

$$\alpha_{cw} = 1$$

Súčiniteľ

$$\nu_l = 0,6 \quad \text{pre } f_{ck} \leq 60 \text{ Mpa} \quad (f_{ck} = 35 \text{ Mpa})$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_l \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg 45^\circ + \tg 45^\circ} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,4104 \cdot 0,6 \cdot \frac{23,33}{1+1} = 1149,12 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 331 \text{ kN} < V_{rd,s} = 358,76 \text{ kN} < V_{rd,max} = 1149,12 \text{ kN}$$

Návrh vyhovuje

### Konštrukčné zásady

Stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_t \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{201,062 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90^\circ} = 0,00562$$

Minimálny stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw, \min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009466$$

$$\rho_{sw} = 0,00562 \geq \rho_{sw, \min} = 0,0009466$$

Podmienka vyhovuje

Maximálna priečna osová vzdialenosť strmienkov

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 456 = 342 \text{ mm}$$

Osová vzdialenosť strmienkov

$$s_t = \frac{bw - 2 \cdot (c_{nom, trámu} - \frac{\varnothing_{sw}}{2})}{n-1} = \frac{400 - 2 \cdot (30 - \frac{8}{2})}{4-1} = 116 \text{ mm}$$

$$s_t = 116 \text{ mm} < s_{t,max} = 342 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Maximálna osová vzdialenosť zostáv strmienkov

$$s_{l,max2} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 456 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 170,58 \text{ mm} = 171 \text{ mm}$$

Navrhnutá vzdialenosť strmienkov

$$s_l = 0,12 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

$$s_l = 120 \text{ mm} < s_{l,max2} = 171 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

### Medzný stav použiteľnosti MSP

#### Obmedzenie napätia

Železobetónové nosníky P1 sú uložené v oblasti vystavenej stupňu vplyvu počasia XC1 (suché prostredie). Tento výpočet sa teda realizovať nebude. Je potreba overiť výpočtom iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach vystavených vplyvom prostredia XD, XF, XS. (namáhané chloridmi, chloridmi z morskej vody alebo rozmrazovacími cyklami)

#### Obmedzenie šírky trhlin

Pre vplyv prostredia XC0 a XC1, nemá šírka trhliny vplyv na trvanlivosť. Hodnota šírky trhliny  $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$  zaisťuje len požiadavky kladené na vzhľad.

#### Obmedzenie priehybu

Navrhoval by som posúdiť presným výpočtom veľkosť priehybov. A overiť tak či bude nutné ich obmedziť alebo nosník bezpečne vyhoví.

**4.2.2. Návrh a posudok pre prievlak P2,P3,P4**

$h=500$  mm (pôvodná výška 350 mm, môj návrh navýšený o 150mm)

$b=400$  mm

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch Ø20;  $n= 5$  ks  $A_s= 1571 \text{ mm}^2$

Horný povrch Ø16;  $n= 3$  ks,  $A_s= 603 \text{ mm}^2$

Strmienky: trojstrižné Ø8

Maximálny ohybový moment na spodnom okraji

$M_{ed}^+ = 215,34 \text{ kNm}$

Maximálna posúvajúca sila

$V_{ed} = 221,72 \text{ kN}$

Stupeň vplyvu prostredia

XC1 (suché prostredie)

Konštrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

1) Krytie výstuže – Strmienky

Strmienky: trojstrižné Ø8

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$c_{min,dur} = 15$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$

$c_{min,sw} = \max(8; 15; 10) = 15 \text{ mm}$

1) Krytie výstuže – hlavná pozdĺžna

Hlavná výstuž Ø20

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min,1} = \max(20; 15; 10) = 20 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

$$c_{min,1} = 20 \text{ mm}$$

$$c_{min,sw} = 15 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \varnothing_{sw} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

najväčšia z hodnôt  $c_{min,2}$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min,2} + c_{dev} = 23 + 2 = 25 \text{ mm}$$

Hlavná výstuž

Žiadny záporný moment mi pri простom uložení prefabrikovaného prievlaku nevzniká.

Horná výstuž ale musí byť navrhnutá a mala by mať minimálne 25% plochy spodnej výstuže.

Návrh pre tlačenu výstuž pri hornom povrchu Ø16; n= 3 ks,  $A_s = 603 \text{ mm}^2$

Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\emptyset}{2} = 500 - 25 - \frac{20}{2} = 465 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,Pl}^+ = 215,34 \text{ kNm}$$

Nutná plocha výstuže

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}^-}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{215,34 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,465 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 1183,47 \text{ mm}^2$$

Návrh

$$\mathbf{\emptyset 20 ; n = 5 \text{ ks } A_s = 1\,571 \text{ mm}^2}$$

Overenie šírky prievlaku a počtu prutou

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{min} = \max(k_1 \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}; 16+5=21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 25 - 5 \cdot 20}{5 - 1} = 62,5 \text{ mm} = 63 \text{ mm}$$

$$s_{min} = 21 \text{ mm} < s = 63 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1571 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 683,04 \text{ kN}$$

Súčinitel definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku prievlaku  $b = 0,4 \text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{689,04}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,0914 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 683,04 \cdot (465 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0914) = 292,62 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^+ = 215,34 \text{ kNm} < M_{rd} = 292,62 \text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje

### Konštrukčné zásady

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,465 = 309 \text{ mm}^2; = 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,465 = 241 \text{ mm}^2\right)$$

$$A_{s,min} = 309 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 0,400 \cdot 0,500 = 0,2 \text{ m}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 309 \text{ mm}^2 < A_s = 1571 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2$$

Návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,09148}{0,465} = 0,196 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\sigma}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 658,75 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 658,75 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd}; 10 \cdot \varnothing; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 660; 10 \cdot 20; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(197,62 \text{ mm}; 200 \text{ mm}; 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 660 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 200 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje



Návrh a posúdenie výstuže na šmyk - strmienkov

### Trojstrižné Ø8mm

Maximálna posúvajúca sila

$$V_{ed} = 221,72 \text{ kN}$$

Zmenšená  $V_{ed}$  na líc podpory (nebezpečné miesto porušenia na šmyk)

$$\frac{V_{ed}}{\frac{l}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{\left(\frac{l}{2} - \frac{b}{2}\right)}$$

$$\frac{221,72}{\frac{3,855}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{\left(\frac{3,855}{2} - \frac{0,4}{2}\right)}$$

$$V_{ed, \text{ zmenšené}} = (221,72 / 1,94) \cdot 1,74 = 198,21 \text{ kN}$$

Plocha výstuže strmienka

$$A_{sw} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset}{4} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{0,08^2}{4} = 150,80 \text{ mm}^2$$

Rameno vnútorných síl

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,465 = 0,419 \text{ m}$$

*Uhol tlačných diagonál*

$$\theta = 45^\circ$$

$$\cotg \theta = 1$$

Vzdialenosť medzi strmienkami

$$S_l = 0,12 \text{ m}$$

Návrhová medz klzu strmienkovej výstuže

$$f_{ywd} = f_{yd} = 434,782 \text{ Mpa}$$

Maximálna únosnosť v šmyku

$$V_{rd,s} = A_{sw} \frac{1,0}{s_t} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg \theta = 150,796 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 1 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 274,383 \text{ kN}$$

Súčiniteľ zohľadňujúci stav napätia v tlačennom páse

$$\alpha_{cw} = 1$$

Súčiniteľ

$$\nu_l = 0,6 \quad \text{pre } f_{ck} \leq 60 \text{ Mpa} \quad (f_{ck} = 35 \text{ Mpa})$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_l \cdot \frac{f_{cd}}{\cotg 45^\circ + \tg 45^\circ} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,4185 \cdot 0,6 \cdot \frac{23,33}{1+1} = 1171,8 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 198,21 \text{ kN} < V_{rd,s} = 274,383 \text{ kN} < V_{rd,max} = 1171,8 \text{ kN} \quad \text{Návrh vyhovuje}$$

### Konštrukčné zásady

Stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_t \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{150,796 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90^\circ} = 0,004217$$

Minimálny stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw, \min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009466$$

$$\rho_{sw} = 0,004217 \geq \rho_{sw, \min} = 0,0009466 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna vzdialenosť medzi vetvami strmienka

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 456 = 342 \text{ mm}$$

$$s_t = \frac{b_w - 2 \cdot (c_{nom, trámu} - \frac{\emptyset_{sw}}{2})}{n-1} = \frac{400 - 2 \cdot (25 - \frac{8}{2})}{3-1} = 158 \text{ mm}$$

$$s_t = 158 \text{ mm} < s_{t,max} = 342 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna vzdialenosť medzi strmienkami

$$s_{l,max2} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 465 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 173,96 \text{ mm}$$

Navrhnutá vzdialenosť strmienkov

$$s_l = 0,12 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

$$s_l = 120 \text{ mm} < s_{l,max2} = 173,96 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Medzný stav použiteľnostiObmedzenie napätia

Železobetónové nosníky typu P2, P3, P4 sú uložené v oblasti vystavenej stupňu vplyvu počasia XC1 (suché prostredie). Tento výpočet sa teda realizovať nebude. Je potreba overiť výpočtom iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach vystavených vplyvom prostredia XD, XF, XS. (namáhané chloridmi, chloridmi z morskej vody alebo rozmrazovacími cyklami)

Obmedzenie šírky trhlin

Pre vplyv prostredia XC0 a XC1, nemá šírka trhliny vplyv na trvanlivosť. Hodnota šírky trhliny  $w_{\max} = 0,4 \text{ mm}$  zaisťuje len požiadavky kladené na vzhľad.

Obmedzenie priehybu

Navrhoval by som posúdiť presným výpočtom veľkosť priehybov. A overiť tak či bude nutné ich obmedziť alebo nosník bezpečne vyhoví.

**4.2.3. Návrh a posudok pre prievlak P5**

$h=500 \text{ mm}$  (pôvodná výška 350 mm, môj návrh navýšený o 150mm)

$b=400 \text{ mm}$

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch  $\varnothing 16$ ;  $n=4$  ks  $A_s = 804 \text{ mm}^2$

Horný povrch  $\varnothing 14$ ;  $n= 2$  ks,  $A_s = 308 \text{ mm}^2$

Strmienky: dvojstrižné  $\varnothing 8$

Maximálny ohybový moment na spodnom okraji

$M_{ed}^+ = 111,54 \text{ kNm}$

Maximálna posúvajúca sila

$V_{ed} = 114,84 \text{ kN}$

Stupeň vplyvu prostredia

XC3 (suché, stredne mokré prostredie)

Konštrukčná trieda

S4

(objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

### 1) Krytie výstuže – Strmienky

Strmienky: dvojstrižné Ø8

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 25$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min,sw} = \max(8; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

### 1) Krytie výstuže – hlavná pozdĺžna

Hlavná výstuž Ø16

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 25$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min,l} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min,l} = \max(16; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,l} = 25\text{mm}$$

$$c_{min,sw} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \varnothing_{sw} = 25 + 8 = 33 \text{ mm}$$

najväčšia z hodnôt  $c_{min,2}$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min,2} + c_{dev} = 33 + 2 = 35 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

Hlavná výstuž – pri hornom okraji

Žiadny záporný moment mi pri prostom uložení prefabrikovaného prievlaku nevzniká. Výstuž na hornom okraji ale musí byť navrhnutá. Návrh hornej výstuže je  $\varnothing 14$ ;  $n = 2ks$ ,  $A_s = 308 \text{ mm}^2$

### Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 500 - 35 - \frac{16}{2} = 457 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,pl}^5 = 111,54 \text{ kNm}$$

### Nutná plocha výstuže

$$A_{s,reg} = \frac{M_{ed}}{0,9 \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{111,54 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,457 \cdot 434,78 \cdot 10^6} = 623,73 \text{ mm}^2$$

Počet profilov do šírky prievlaku 400mm

$$A_s = n \cdot \pi \cdot \frac{\varnothing^2}{4}$$

$$n = \frac{A_s \cdot 4}{\varnothing^2 \cdot \pi} = \frac{623,73 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{\pi \cdot 0,016^2} = 3,103 = 4 \text{ ks}$$

Návrh

$$\varnothing 16 ; n = 4 \text{ ks } A_s = 804 \text{ mm}^2$$

Overenie šírky prievlaku a počtu prutov

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max (k_1 \cdot \emptyset; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max (16 \text{ mm}; 16+5=21\text{mm}; 20\text{mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

Osová priečna vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{\text{nom}} - n \cdot \emptyset}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 4 \cdot 16}{4 - 1} = 88,67 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s = 88,67 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 804 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 349,56 \text{ kN}$$

Súčinitel definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčinitel tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku prievlaku  $b = 0,4 \text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{349,56}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,00468 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 349,56 \cdot (457 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,0465) = 153,21 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^+ = 111,54 \text{ kNm} < M_{rd} = 153,21 \text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje

Konstrukčné zásady

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,457 = 304 \text{ mm}^2; 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,457 = 237 \text{ mm}^2\right) = 304 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 500 = 0,2 \text{ m}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,2 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 304 \text{ mm}^2 < A_s = 804 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 8000 \text{ mm}^2$$

Návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,0468}{0,458} = 0,102 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 527,01 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 527,01 \text{ mm} = 530 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = 0,3 \cdot 527,01 ; 10 \cdot 16 ; 100 \text{ mm}$$

$$l_{b,min} = \max(158,1 \text{ mm} ; 160 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 160 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 530 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 160 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*

Návrh a posúdenie výstuže na šmyk - strmienkov

**dvojstrižné Ø8mm**

Maximálna posúvajúca sila

$$V_{ed} = 114,84 \text{ kN}$$

Zmenšená  $V_{ed}$  na líc podpory (nebezpečné miesto porušenia na šmyk)

$$\frac{V_{ed}}{\frac{1}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{(\frac{1}{2} - \frac{b}{2})}$$

$$\frac{114,84}{\frac{3,855}{2}} = \frac{V_{ed, \text{ zmenšené}}}{(\frac{3,855}{2} - \frac{0,4}{2})}$$

$$V_{ed, \text{ zmenšené}} = (114,84 / 1,94) \cdot 1,74 = 103 \text{ kN}$$

Plocha výstuže strmienka

$$A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset}{4} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{0,008^2}{4} = 100,53 \text{ mm}^2 \cdot \pi$$



Rameno vnútorných síl

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,458 = 0,4113 \text{ m}$$

Uhol tlačeních diagonál

$$\theta = 45^\circ$$

vzdialenosť zostáv strmienkov

$$s_l = 0,12 \text{ m}$$

Návrhová medz klzu strmienkovej výstuže

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ Mpa}$$

Maximálna únosnosť v šmyku

$$V_{rd,s} = A_{sw} \frac{1,0}{s_t} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 100,53 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 1 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 179,78 \text{ kN}$$

Súčiniteľ zohľadňujúci stav napätia v tlačennom páse

$$\alpha_{cw} = 1$$

Súčiniteľ

$$\nu_l = 0,6 \quad \text{pre } f_{ck} \leq 60 \text{ Mpa} \quad (f_{ck} = 35 \text{ Mpa})$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_l \cdot \frac{f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,4113 \cdot 0,6 \cdot \frac{23,33}{1+1} = 1151,64 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 103,84 \text{ kN} < V_{rd,s} = 179,74 \text{ kN} < V_{rd,max} = 1151,64 \text{ kN} \quad \text{Návrh vyhovuje}$$

Konstrukčné zásady

Stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_t \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{100,48 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90} = 0,00281$$

Minimálny stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw, \min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009466$$

$$\rho_{sw} = 0,00281 \geq \rho_{sw, \min} = 0,0009466 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna priečna osová vzdialenosť strmienkov

$$s_{t, \max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 457 = 342,75 \text{ mm}$$

$$s_t = b_w - 2 \cdot (c_{\text{nom}, \text{trámu}} - \frac{\emptyset_{sw}}{2}) = 400 - 2 \cdot (35 - \frac{8}{2}) = 338 \text{ mm}$$

$$s_t = 338 \text{ mm} < s_{t, \max} = 342,75 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna osová vzdialenosť zostáv strmienkov

$$s_{l, \max 2} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 508 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 190,04 \text{ mm} = 190 \text{ mm}$$

$$s_l = 120 \text{ mm} < s_{l, \max 2} = 190 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

### Medzný stav použiteľnosti MSP

#### Obmedzenie napätia

Železobetónové nosníky P5 sú uložené v oblasti vystavenej stupňu vplyvu počasia XC3 (suché, stredne mokré prostredie). Tento výpočet sa teda realizovať nebude. Je potreba overiť výpočtom iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach vystavených vplyvom prostredia XD, XF, XS. (namáhané chloridmi, chloridmi z morskej vody alebo rozmrazovacími cyklami)

#### Obmedzenie šírky trhlín

Pre vplyv prostredia XC2 a XC3, nemá šírka trhliny vplyv na trvanlivosť. Hodnota šírky trhliny  $w_{\max} = 0,3 \text{ mm}$  zaisťuje len požiadavky kladené na vzhľad.

#### Obmedzenie priehybu

Navrhoval by som posúdiť presným výpočtom veľkosť priehybov. A overiť tak či bude nutné ich obmedziť alebo nosník bezpečne vyhoví.

#### 4.4.Návrh a posudok stĺpov

Geometria

$h_{sl}= 500\text{mm}$

$b_{sl}= 400\text{ mm}$

Návrh a posudok výstuže bude identický pre všetky 4 typy stĺpov v prešetrovanej časti konštrukcie.

##### Návrh a posudok pre stĺp S1,S2,S3 a S4

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch Ø20;  $n= 4$  ks  $A_s= 1257\text{mm}^2$

Horný povrch Ø20;  $n= 4$  ks,  $A_s= 1257\text{ mm}^2$

Strmienky: dvojstrižné Ø8

##### **S1**

Maximálny ohybový moment

$M_{ed}= -5,57\text{ kNm}$

Maximálna normálová sila

$N_{ed}= - 878,32\text{kN}$

##### **S3**

Maximálny ohybový moment

$M_{ed}= 180,26\text{ kNm}$

Maximálna normálová sila

$N_{ed}= 586,78\text{ kN}$

##### **S2**

Maximálny ohybový moment

$M_{ed}= +22,23\text{ kNm}$

Maximálna normálová sila

$N_{ed}= - 925,42\text{kN}$

##### **S4**

Maximálny ohybový moment

$M_{ed}= -175,31\text{ kNm}$

Maximálna normálová sila

$N_{ed}= - 951,05\text{ kN}$

Stupeň vplyvu prostredia

XC1

(suché prostredie)

Konštrukčná trieda

S4

(objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

### 1) Krytie výstuže – Strmienky

Strmienky: dvojstrižné Ø8

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min,sw} = \max(8; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

### 1) Krytie výstuže – hlavná pozdĺžna

Hlavná výstuž Ø20

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 15$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min,l} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\text{mm})$$

$$c_{min,l} = \max(20; 15; 10) = 20 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$C_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

$$C_{min,1} = 20 \text{ mm}$$

$$C_{min,sw} = 15 \text{ mm}$$

$$C_{min,2} = C_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 15 + 8 = 23 \text{ mm}$$

najväčšia z hodnôt  $C_{min,2}$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$C_{nom} = C_{min,2} + C_{dev} = 23 + 2 = 25 \text{ mm}$$

účinná výška prierezu

$$d = h - C_{nom} - \emptyset_{sw} - \frac{\emptyset}{2} = 500 - 25 - 8 - \frac{20}{2} = 457 \text{ mm}$$

$$d_1 = d_2 = C_{nom} + \emptyset_{sw} + \frac{\emptyset}{2} = 25 + 8 + \frac{20}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$z_1 = z_2 = \frac{h}{2} - d_1 - d_2 = \frac{500}{2} - 43 - 43 = 207 \text{ mm}$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \pi \cdot r^2 \cdot n = \pi \cdot 0,010^2 \cdot 4 = 1256,63 \text{ mm}^2 = 1257 \text{ mm}^2$$

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1,2} \cdot f_{yd} = 1256,63 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 546,36 \text{ kN}$$

Overenie štíhlosti – posúdenie na vzper

## Stĺp S1

Mechanický stupeň vystuženia

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 434,78}{400 \cdot 500 \cdot 35} = 0,117$$

$$A = 0,7 \quad (\text{konzervatívne})$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,117} = 1,11$$

$$C = 1,7 + \frac{M_1}{M_2} = 1,7 + 0 = 1,7$$

Pomer koncových momentov

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{5,57} = 0$$

Pomerová normálová sila

$$n = \frac{N_{ed}}{(A_c \cdot f_{cd})} = \frac{878,32}{(0,20 \cdot 23,333 \cdot 10^3)} = 0,188$$

$$\lambda_{\lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,111 \cdot 1,7}{\sqrt{0,188}} = 60,95$$

Účinná dĺžka

$$l_0 = \beta \cdot l = 0,7 \cdot 4,482 = 3,1374 \text{ m}$$

0,7 (uvažujeme votknutie v päte a klb v hlave stĺpu)

polomer zotrvačnosti prierezu bez trhlín

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,4^3 \cdot 0,5^3}{0,2}} = 0,0578 \text{ m}$$

štíhlosť

$$\lambda_{sl,1} = \frac{l_0}{i} = \frac{3,137}{0,0578} = 54,34$$

$$\lambda_{\lim} = 60,945 > \lambda_{sl,1} = 54,34$$

Podmienka vyhovuje

Na stĺpe nedôjde k strate stability na tejto vzpernej dĺžke, preto môžeme uvažovať pre výpočet iba analýzu prvého rádu.

**Stĺp S2**

Mechanický stupeň vystuženia

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 434,78}{400 \cdot 500 \cdot 35} = 0,117$$

$$A = 0,7 \quad (\text{konzervatívne})$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,117} = 1,11$$

$$C = 1,7 + \frac{M_1}{M_2} = 1,7 + 0 = 1,7$$

Pomer koncových momentov

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{5,63} = 0$$

Pomerová normálová sila

$$n = \frac{N_{ed}}{(A_c \cdot f_{cd})} = \frac{863,46}{(0,20 \cdot 23,333 \cdot 10^3)} = 0,185$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,111 \cdot 1,7}{\sqrt{0,185}} = 61,47$$

Účinná dĺžka

$$l_0 = \beta \cdot l = 0,7 \cdot 4,482 = 3,137 \text{ m}$$

0,7 (uvažujeme votknutie v päte a klb v hlave stĺpu)

polomer zotrvačnosti prierezu bez trhlín

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,4^3 \cdot 0,5^3}{0,2}} = 0,0578 \text{ m}$$

štíhlosť

$$\lambda_{sl,2} = \frac{l_0}{i} = \frac{3,137}{0,0578} = 54,34$$

$$\lambda_{\text{lim}} = 61,43 > \lambda_{\text{sl},2} = 54,34 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Na stĺpe nedôjde k strate stability na tejto vzpernej dĺžke, preto môžeme uvažovať pre výpočet iba analýzu prvého rádu.

### Stĺp S3

Mechanický stupeň vystuženia

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 434,78}{400 \cdot 500 \cdot 35} = 0,117$$

$$A = 0,7 \quad (\text{konzervatívne})$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,117} = 1,11$$

$$C = 1,7 + \frac{M_1}{M_2} = 1,7 + 0 = 1,7$$

Pomer koncových momentov

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{-24,20} = 0$$

Pomerová normálová sila

$$n = \frac{N_{ed}}{(A_c \cdot f_{cd})} = \frac{586,78}{(0,20 \cdot 23,333 \cdot 10^3)} = 0,1257$$

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,111 \cdot 1,7}{\sqrt{0,1257}} = 74,56$$

Účinná dĺžka

$$l_0 = \beta \cdot l = 0,7 \cdot 4,55 = 3,185 \text{ m}$$

0,7 (uvažujeme stĺp pevne uložený v päte k základu a klbový prípoj v hlave stĺpu k strešnej konštrukcii)

polomer zotrvačnosti prierezu bez trhlín

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,4^3 \cdot 0,5^3}{0,2}} = 0,0578 \text{ m}$$



štíhlosť

$$\lambda_{sl,3} = \frac{l_0}{i} = \frac{3.185}{0,0578} = 55,17$$

$$\lambda_{lim} = 74,56 > \lambda_{sl,3} = 55,17 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Na stĺpe nedôjde k strate stability na tejto vzpernej dĺžke, preto môžeme uvažovať pre výpočet iba analýzu prvého rádu.

### Stĺp S4

Mechanický stupeň vystuženia

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1256 \cdot 434,78}{400 \cdot 500 \cdot 35} = 0,117$$

$$A = 0,7 \quad (\text{konzervatívne})$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,117} = 1,11$$

$$C = 1,7 + \frac{M_1}{M_2} = 1,7 + 0 = 1,7$$

Pomer koncových momentov

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{0}{-46,08} = 0$$

Pomerová normálová sila

$$n = \frac{N_{ed}}{(A_c \cdot f_{cd})} = \frac{951,05}{(0,20 \cdot 23,333 \cdot 10^3)} = 0,204$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,111 \cdot 1,7}{\sqrt{0,204}} = 58,57$$

Účinná dĺžka

$$l_0 = \beta \cdot l = 0,7 \cdot 4,55 = 3,185 \text{ m}$$

0,7 (uvažujeme stĺp pevne uložený v päte k základu a kĺbový prípoj v hlave stĺpu k strešnej konštrukcii)

polomer zotrvačnosti prierezu bez trhlín

$$i = \sqrt{\frac{I_y}{A_c}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h^3}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \cdot 0,4^3 \cdot 0,5^3}{0,2}} = 0,0578 \text{ m}$$

štíhlosť

$$\lambda_{sl,4} = \frac{l_0}{i} = \frac{3,185}{0,0578} = 55,17$$

$$\lambda_{\text{lim}} = 58,57 > \lambda_{sl,4} = 55,17 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Na stĺpe nedôjde k strate stability na tejto vzpernej dĺžke, preto môžeme uvažovať pre výpočet iba analýzu prvého rádu.

### Interakčný diagram

#### **Bod 0 - Dostredný tlak, celý prierez je tlačný**

$$X = h_{stlpu}$$

Modul pružnosti betonárskej oceli

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

*Hodnota pretvorenie betónu*

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{s1} = \varepsilon_{s2} = 0,0035$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot h_{stlpu} \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 23,33 \cdot 10^3 = 3733,33 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = F_{s2} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 546,36 \text{ kN}$$

$$N_{rd,bod0} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = 3733,33 + 546,36 + 546,36 = 4826,06 \text{ kN}$$

$$M_{rd,bod0} = (A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 - A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_2) = (1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,207 - 1256 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,207) = 0 \text{ kNm}$$

**Bod 1 - Neutrálna osa prechádza ťažiskom výstuže na tlačenej strane**

$$X = d$$

Sila únosnosti

$$F_c = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,457 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3 = 3412,27 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{yd} = 546,3639 \text{ kN}$$

Sila únosnosti

$$N_{rd,0,bod1} = F_c + F_{s2} = 3412,27 + 546,37 = 3958,63 \text{ kN}$$

Moment únosnosti

$$M_{rd,bod1} = 0,8 \cdot X \cdot b \cdot F_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot X \right) + A_{s2} \cdot \sigma_2 \cdot z_2 =$$

$$M_{rd,bod1} = 0,8 \cdot 0,457 \cdot 0,4 \cdot 23,33 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,50}{2} - 0,4 \cdot 0,457 \right) + (1256 \cdot 10^{-6} \cdot 437,78 \cdot 10^3 \cdot 0,207 = 342,401 \text{ kNm}$$

**Bod 2 - Napätie v ťahovej výstuži je na medzi klzu, zvyšuje sa excentricita normálovej sily**

$$X = X_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 0,457 = 0,2819$$

$$X_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Sila únosnosti

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,2819 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3 = 2104,88 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 546,3639 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = F_{s1}$$

$$N_{rd,bod2} = F_c - F_{s1} + F_{s2} = 2104,88 + 0 = 2104,88 \text{ kN}$$

Moment únosnosti

$$M_{rd,bod2} = 0,8 \cdot X \cdot b \cdot F_{cd} \cdot \left( \frac{h}{2} - 0,4 \cdot X \right) + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 + A_{s2} \cdot \sigma_2 \cdot z_2 =$$

$$M_{rd,bod2} = 0,8 \cdot 0,002819 \cdot 0,4 \cdot 23,33 \cdot 10^3 \cdot (250 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,002819) + 2 \cdot (1257 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,207 = 560,02 \text{ kNm}$$

### **Bod 3 - Prostý ohyb, bez uváženia tlačenej výstuže**

Výška tlačenej oblasti pre šírku prievlaku  $b = 0,4 \text{ m}$

$$x = \frac{F_{s1}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{546,36}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,00732 \text{ m}$$

Sila únosnosti

$$N_{rd,bod3} = F_c - F_{s1} = 0 \text{ kN}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd,bod3} = 0,8 \cdot x \cdot b \cdot F_{cd} \cdot (d - 0,4 \cdot x)$$

$$M_{rd,bod3} = 0,8 \cdot 0,00732 \cdot 0,4 \cdot 23,33 \cdot 10^3 \cdot (457 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,00723) = 233,695 \text{ kNm}$$

### **Bod 4 - Neutrálna osa prechádza ťažiskom výstuže, nulové pretvorenie tlačenej výstuže**

$$X = d_2$$

$$F_{s2} = 0$$

Sila únosnosti

$$N_{rd,bod4} = F_{s1} = -546,369 \text{ kN (- ťah)}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_{s1} \cdot z_1 = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1$$

$$M_{rd} = 1257 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 \cdot 0,207 = 113,097 \text{ kNm}$$

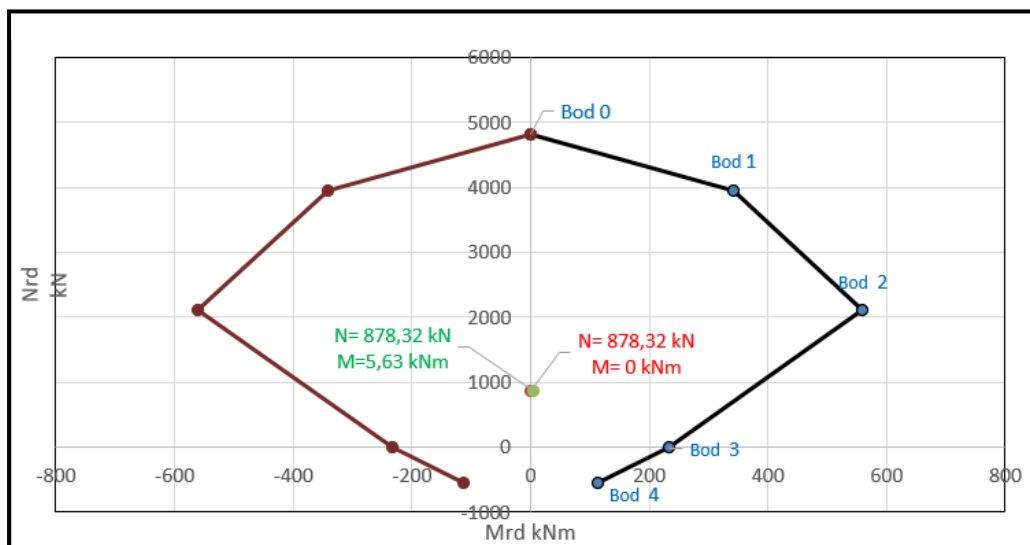
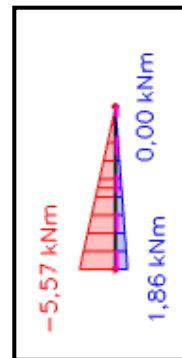
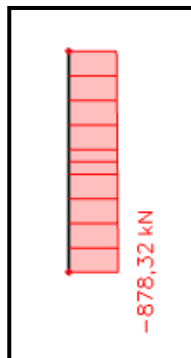
Ohybový moment pre normálovú silu Ned na stĺpe S1

$$N_{ed,max} = -878,32 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -5,63 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = -878,32 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 0 \text{ kNm}$$



Obrázok 57- Interakčný diagram pre stĺp S1

Ohybový moment pre normálovú silu  $N_{ed}$  na stĺpe S2

$$N_{ed,max} = -863,46 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = +22,23 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = -863,46 \text{ kN}$$

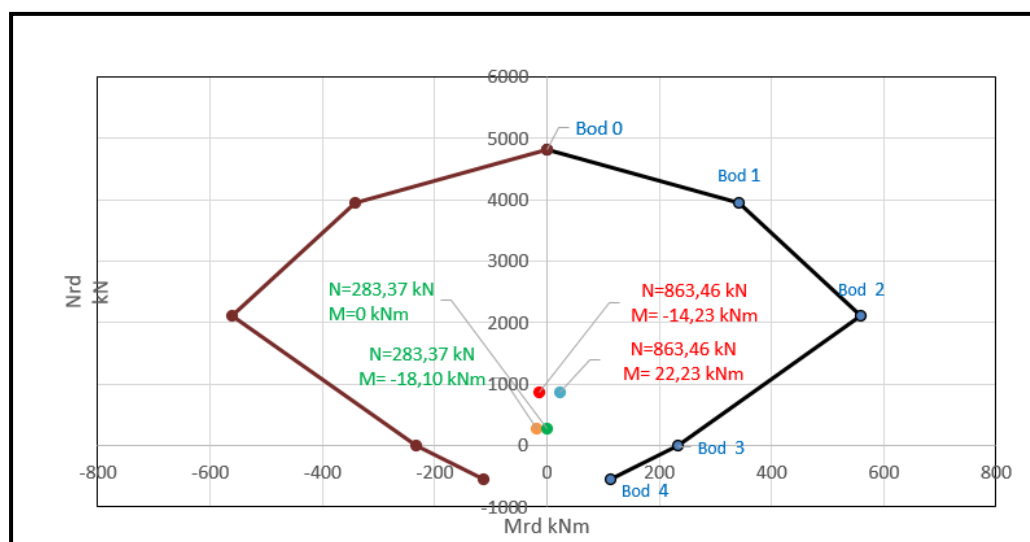
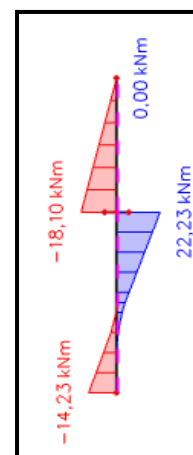
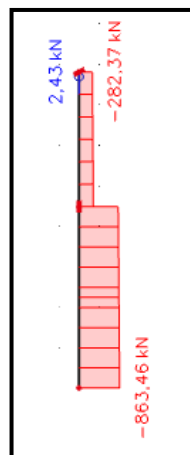
$$M_{ed,max} = -14,23 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = -283,37 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = -283,37 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -18,10 \text{ kNm}$$



Obrázok 58 Interakčný diagram stĺp S2

Ohybové moment pre normálovú silu Ned na stĺpe S3

$$N_{ed,max1} = 586,78 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max1} = 47,16 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max2} = 586,78 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max2} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max3} = 560,39 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max3} = -100,36 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max5} = 560,39 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 180,26 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 334,14 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -145,88 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 334,14 \text{ kN}$$

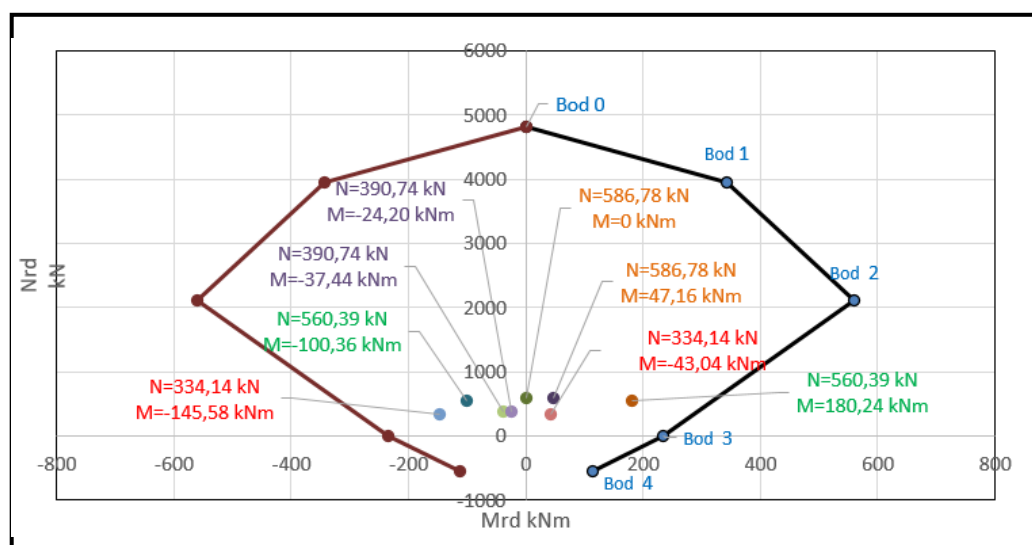
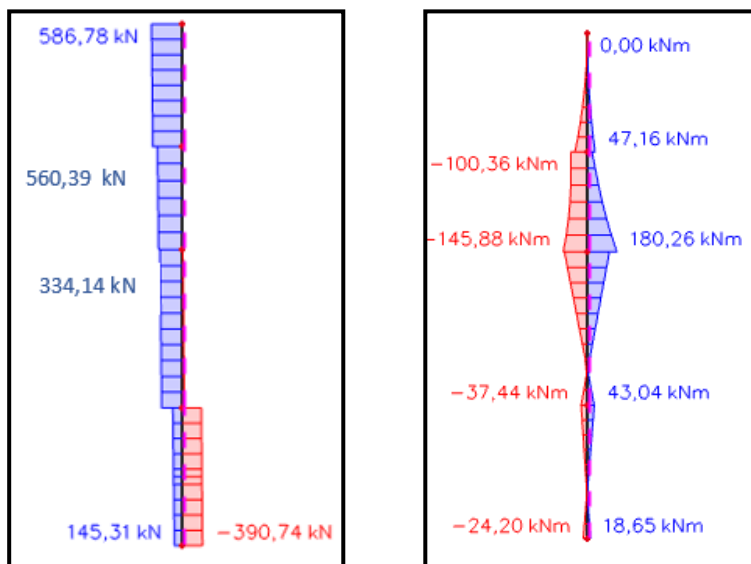
$$M_{ed,max} = 43,04 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 390,74 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -37,44 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 390,74 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -24,2 \text{ kNm}$$



Obrázok 59 interakčný diagram Stĺp S3

Ohybové moment pre normálovú silu Ned na stĺpe S4

$$N_{ed,max} = 343,63 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -50,78 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 343,63 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 662,73 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 107,03 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 662,73 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -175,31 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 866,32 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -49,8 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 866,32 \text{ kN}$$

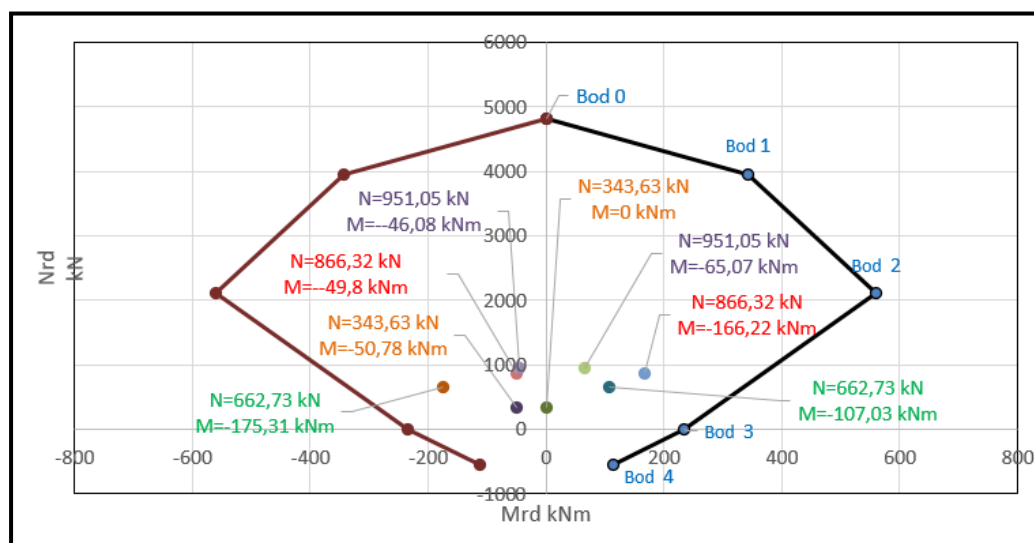
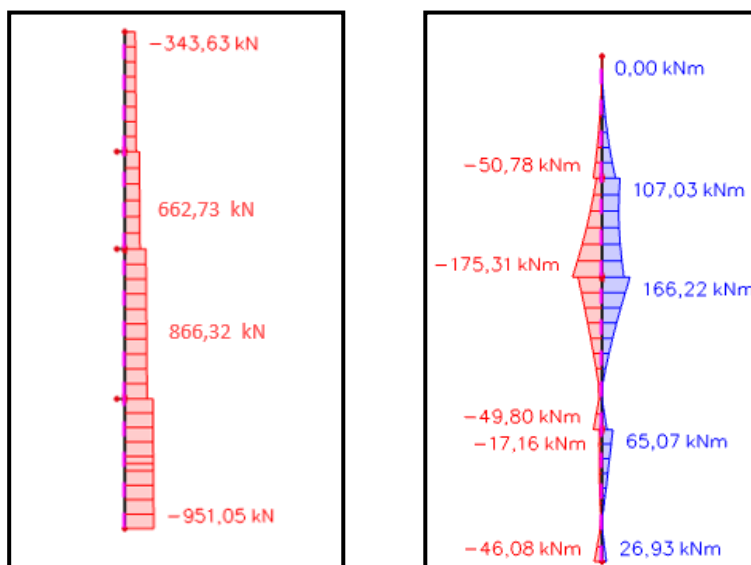
$$M_{ed,max} = 166,22 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 951,05 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = 65,07 \text{ kNm}$$

$$N_{ed,max} = 951,05 \text{ kN}$$

$$M_{ed,max} = -46,08 \text{ kNm}$$



Obrázok 60 Interakčný diagram pre stĺp S4



Konštrukčné zásady

Minimálny priemer pozdĺžnej výstuže

$$\varnothing_{\min}=8 \text{ mm} < \varnothing = 20 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max (k_1 \varnothing; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max (1 \cdot 20\text{mm}; 16+5=21\text{mm}; 20\text{mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min}=21\text{mm} < s=90\text{mm}$$

Podmienka vyhovuje

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,\min} = \frac{0,1 \cdot Ned}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 878,30}{434,72 \cdot 10^3} = 202,4 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 0,40 \cdot 0,50 = 0,20\text{m}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 20 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = 202,4 \text{ mm}^2 < A_s = 1257 \text{ mm}^2 < A_{s,\max} = 8000 \text{ mm}^2$$

Návrh vyhovuje

Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b,rgd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 658,75 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rgd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 658,76 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rgd} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 660 ; 10 \cdot 20 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b,min} = \max(197,63 \text{ mm} ; 200 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 660 \text{ mm} \geq l_{b,min} = 200 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Priečna výstuž strmienkov

Priemer priečnej výstuže

$$\emptyset_{scl,min} = \max \left( 6 \text{ mm} ; \frac{\emptyset}{4} \right) = \max \left( 6 \text{ mm} ; \frac{20}{4} \right) = 6 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{scl,min} = 6 \text{ mm} \leq \emptyset_{scl} = 8 \text{ mm}$$

Podmienka vyhovuje

Návrh priečnej vzdialenosti strmienkov

$$S_{cl}=300\text{mm}$$

Osová vzdialenosť priečnej výstuže po dĺžke stĺpu

$$S_{cl,max} = \min ( 15 \cdot \emptyset ; b_{sl} ; 400\text{mm} ) = ( 15 \cdot 20=300 ; 400 ; 400 ) = 300 \text{ mm}$$

$$S_{cl}=300\text{mm} \leq S_{cl,max} = 300\text{mm}$$

Podmienka vyhovuje

$S_{cl,max}$  v mieste 500mm nad a pod prievlakom

$$S_{cl1} = 0,6 \cdot S_{cl,max} = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ mm}$$

## 4.5.Návrh a posudok šikmého nosníka tribúny

### Návrh šikmého nosníka

$h_s = 650 \text{ mm}$

$b = 400 \text{ mm}$

Navrhnutá výstuž

Dolný povrch Ø20;  $n = 5$  ks  $A_s = 1885 \text{ mm}^2$

Horný povrch Ø20;  $n = 5$  ks,  $A_s = 1885 \text{ mm}^2$

Strmienky: trojstrižné Ø8

Maximálny ohybový moment na spodnom okraji

$M_{ed}^+ = 382,74 \text{ kNm}$

Maximálny ohybový moment

$M_{max} = -452,41$

Maximálna posúvajúca sila

$V_{ed} = -296,12 \text{ kN}$

Stupeň vplyvu prostredia

XC3 (suché, stredne mokré prostredie)

Konštrukčná trieda

S4 (objekt návrhovej životnosti 50 rokov)

### 1) Krytie výstuže – Strmienky

Strmienky: trojstrižné Ø8

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$c_{min,dur} = 25$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$c_{min,b} = 8 \text{ mm}$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10mm)$$

$$c_{min,sw} = \max(8; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

### 1) Krytie výstuže – hlavná pozdĺžna

Hlavná výstuž Ø20

Minimálna krycia vrstva z hľadiska podmienok prostredia

$$c_{min,dur} = 25$$

Minimálna krycia vrstva z hľadiska súdržnosti

$$c_{min,b} = 20 \text{ mm}$$

Minimálna krycia vrstva s prihliadnutím na požiadavky súdržnosti, trvanlivosti

$$c_{min,l} = \max(c_{minb}; c_{min,dur} + c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10mm)$$

$$c_{min,l} = \max(20; 25; 10) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,l} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,sw} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \varnothing_{sw} = 25 + 8 = 33 \text{ mm}$$

najväčšia z hodnôt  $c_{min,2}$

Menovitá hodnota hrúbky betónovej krycej vrstvy

$$c_{nom} = c_{min,2} + c_{dev} = 33 + 2 = 35 \text{ mm}$$

Tolerančné zväčšenie

$$c_{dev} = 0 \text{ až } 5 \text{ mm} = 2 \text{ mm}$$

### Plocha výstuže

účinná výška prierezu

$$d = h - c_{nom} - \frac{\varnothing}{2} = 650 - 35 - \frac{20}{2} = 605 \text{ mm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na spodnom okraji

$$M_{ed,P1}^+ = 382,74 \text{ kNm}$$

Rozhodujúci ohybový moment na hornom okraji

$$M_{ed}^- = -452,41 \text{ kNm}$$

Návrh

$$\text{Ø}20 ; n=5 \text{ ks } A_s = 1885 \text{ mm}^2$$

Overenie šírky nosníka a počtu prutou

Minimálna svetlá vzdialenosť prutov

$$s_{\min} = \max(k_1 \cdot \text{Ø}; d_g + k_2; 20 \text{ mm}) = \max(20 \text{ mm}; 16+5=21 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}$$

Maximálny priemer zrn kameniva

$$d_g = 16$$

Osová priečna vzdialenosť hlavnej výstuže

$$s = \frac{b - 2 \cdot c_{nom} - n \cdot \text{Ø}}{n - 1} = \frac{400 - 2 \cdot 35 - 5 \cdot 20}{5 - 1} = 57,5 \text{ mm} = 58 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = 21 \text{ mm} < s = 58 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*

Posúdenie

Sila vo výstuži

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 1885 \cdot 10^{-6} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 819,56 \text{ kN}$$

Súčiniteľ definujúci efektívnu výšku tlačenej zóny

$$\lambda = 0,8$$

Súčiniteľ tlakovej pevnosti betónu

$$\eta = 1$$

Výška tlačenej oblasti pre šírku prievlaku  $b = 0,4 \text{ m}$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{819,56}{0,8 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 23,33 \cdot 10^3} = 0,1097 \text{ m}$$

Moment únosnosti prierezu

$$M_{rd} = F_s \cdot \left( d - \frac{\lambda \cdot x}{2} \right) = 819,56 \cdot (605 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 0,1097) = 459,85 \text{ kNm}$$

$$M_{ed}^+ = 382,74 \text{ kNm} ; M_{ed}^- = -452,41 \text{ kNm} < M_{rd} = 459,85 \text{ kNm}$$

Návrh vyhovuje

### Konstrukčné zásady

Minimálna plocha výstuže

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d; 0,0013 \cdot b_t \cdot d\right)$$

$$A_{s,min} = \max\left(0,26 \cdot \frac{3,2}{500} \cdot 0,4 \cdot 0,605 = 402 \text{ mm}^2 ; 0,0013 \cdot 0,4 \cdot 0,605 = 314 \text{ mm}^2\right) = 402 \text{ mm}^2$$

Prierezová plocha betónu

$$A_c = b \cdot h = 400 \cdot 650 = 0,26 \text{ m}^2$$

Maximálna plocha výstuže

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,26 = 8000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 304 \text{ mm}^2 < A_s = 1885 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 10400 \text{ mm}^2$$

Návrh vyhovuje

Obmedzenie výšky tlačenej oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,1098}{0,605} = 0,181 < \xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = 0,617$$

Podmienka vyhovuje

### Kotviaca dĺžka

Súčinitele  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3; \alpha_4; \alpha_5 = 1,0$ .

Vo výpočtoch budem pre zjednodušenie uvažovať s hodnotou 1 pre každý súčiniteľ priklonením sa na stranu bezpečnú pre náš návrh.

Vplyv súdržnosti

$$\eta_1 = 1,0$$

Vplyv priemeru prutu

$$\eta_2 = 1,0$$

Súčiniteľ zohľadňujúci dlhodobé účinky pevnosti v tlaku a nepriaznivé účinky od spôsobu zaťažovania

$$\alpha_{ct} = 1,0$$

Návrhová pevnosť betónu v ťahu

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 2,2}{1,5} = 1,467 \text{ Mpa}$$

Návrhová hodnota medzného napätia v súdržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,467 = 3,3 \text{ MPa}$$

Základná kotviaca dĺžka

$$l_{b, \text{rgd}} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \cdot \frac{434,78}{3,3} = 658,76 \text{ mm}$$

Kotviaca dĺžka

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b, \text{rgd}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 658,76 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$$

Minimálna kotviaca dĺžka

$$l_{b, \text{min}} = \max(0,3 \cdot l_{b, \text{rgd}} ; 10 \cdot \emptyset ; 100 \text{ mm}) = \max(0,3 \cdot 658,76 ; 10 \cdot 20 ; 100 \text{ mm})$$

$$l_{b, \text{min}} = \max(197,62 \text{ mm} ; 200 \text{ mm} ; 100 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

$$l_{bd} = 660 \text{ mm} \geq l_{b, \text{min}} = 200 \text{ mm}$$

*Podmienka vyhovuje*

Návrh a posúdenie výstuže na šmyk - strmienkov

**trojstrižné Ø8mm**

Maximálna posúvajúca sila

$$V_{ed} = -296,12 \text{ kN}$$

Plocha výstuže strmienka



$$A_{sw} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset}{4} = 3 \cdot \pi \cdot \frac{0,008^2}{4} = 150,796 \text{ mm}^2$$

Rameno vnútorných síl

$$z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,605 = 0,5445 \text{ m}$$

*Uhol tlačných diagonál*

$$\theta = 45^\circ$$

vzdialenosť zostáv strmienkov

$$s_{cl} = 0,2 \text{ m}$$

Návrhová medz klzu strmienkovej výstuže

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ Mpa}$$

$$V_{rd,s} = A_{sw} \frac{1,0}{s_t} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 150,796 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,0}{0,1} \cdot 1 \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 356,99 \text{ kN}$$

.

Maximálna únosnosť v šmyku

Súčiniteľ zohľadňujúci stav napätia v tlačnom páse

$$\alpha_{cw} = 1$$

Súčiniteľ

$$\nu_l = 0,6 \quad \text{pre } f_{ck} \leq 60 \text{ Mpa} \quad (f_{ck} = 35 \text{ Mpa})$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu_l \cdot \frac{f_{cd}}{\cot 45^\circ + \tan 45^\circ} = 1 \cdot 0,4 \cdot 0,5445 \cdot 0,6 \cdot \frac{23,33}{1+1} = 1524,6 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 296,12 \text{ kN} < V_{rd,s} = 356,99 \text{ kN} < V_{rd,max} = 1524,6 \text{ kN} \quad \text{Návrh vyhovuje}$$

Konštrukčné zásady

Stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{st. \text{ bw. } \sin \alpha} = \frac{150,79 \cdot 10^{-6}}{0,1 \cdot 0,4 \cdot \sin 90} = 0,00422$$

Minimálny stupeň vystuženia šmykovou výstužou

$$\rho_{sw, \min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{35}}{500} = 0,0009466$$

$$\rho_{sw} = 0,00422 \geq \rho_{sw, \min} = 0,0009466 \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna priečna osová vzdialenosť strmienkov

$$s_{t, \max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 605 = 453,75 \text{ mm}$$

osová vzdialenosť strmienkov

$$s_t = b_w - 2 \cdot \left( c_{\text{nom, nosníku}} - \frac{\emptyset_{sw}}{2} \right) = 400 - 2 \cdot \left( 35 - \frac{8}{2} \right) = 338 \text{ mm}$$

$$s_t = 338 \text{ mm} < s_{t, \max} = 453,75 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

Maximálna osová vzdialenosť zostáv strmienkov

$$S_{l, \max 2} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \cdot 605 \cdot (1 + \cotg 90^\circ) = 226,32 \text{ mm} = 226 \text{ mm}$$

$$S_l = 200 \text{ mm} < S_{l, \max 2} = 226 \text{ mm} \quad \text{Podmienka vyhovuje}$$

### Medzný stav použiteľnosti MSP

#### Obmedzenie napätia

Železobetónové šikmé nosníky sú uložené v oblasti vystavenej stupňu vplyvu počasia XC3 (suché, stredne mokré prostredie). Tento výpočet nie je potreba realizovať. Je potreba overiť výpočtom iba tie prvky konštrukcie, ktoré sú uložené v oblastiach vystavených vplyvom prostredia XD, XF, XS. (namáhané chloridmi, chloridmi z morskej vody alebo rozmrazovacími cyklami)

#### Obmedzenie šírky trhlín

Pre vplyv prostredia XC2 a XC3, nemá šírka trhliny vplyv na trvanlivosť. Hodnota šírky trhliny  $w_{\max} = 0,3 \text{ mm}$  zaisťuje len požiadavky kladené na vzhľad.

#### Obmedzenie priehybu

Navrhoval by som posúdiť presným výpočtom veľkosť priehybov podľa normy ČSN 1991-1-1 podľa kapitoly 7. 4. A overiť tak či bude nutné ich obmedziť alebo nosník bezpečne vyhoví.

## **Záver**

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnúť a posúdiť hlavné nosné časti železobetónovej prefabrikovanej konštrukcie futbalovej tribúny. K mojej práci som využíval pôvodný návrh, ktorý vypracovala spoločnosť STAVOKOV PROJEKT s.r.o. Pre rozsiahlosť konštrukcie som si vybral menšiu časť, na ktorú som aplikoval predpokladané zaťaženie. Výstuž som navrhol a posúdil metódou medzných stavov únosnosti a použiteľnosti. Všetky nosné prvky boli navrhnuté tak, aby boli dodržané konštrukčné zásady podľa platnej normy ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 2: Navrhovanie betonových konštrukcií, časť 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby [2]. Svoju prácu som doplnil o stavebné výkresy navrhovanej výstuže pre nosné prvky.

V návrhu nosnej konštrukcie som nahradil pôvodné filigránové keramické stropné dosky za železobetónovú spojitú dosku. Taktiež som musel v priebehu statického výpočtu upraviť výšku prierezu prievlaku z 350 mm na 500mm.

Navrhoval by som ešte svoju prácu doplniť o podrobné výpočty priehybov, výpočty šírky trhlín a obmedzenia napätia pre medzný stav použiteľnosti. A taktiež by bola možnosť zmeniť môj návrh stropných dosiek za dosky vystužené v oboch smeroch.

## Pod'akovanie

Na záver by som chcel poďakovať vedúcej práce Ing. Pavlíne Matečkovej, Ph. D. za ochotu, trpezlivosť a vynaložený čas. Vďaka jej užitočným radám a poznatkom ohľadne posudzovania a navrhovania železobetónových konštrukcií podľa platných noriem som mohol prácu dokončiť. V neposlednej rade by som jej chcel tiež poďakovať za cenné rady pri tvorbe a vypracovaní výkresov výstuže.

## Zoznam obrázkov

Obrázok 1 štadión.....	2
Obrázok 2 východná tribúna, pohľad z hracej plochy .....	2
Obrázok 3 Východná tribúna pohľad z parkoviska.....	3
Obrázok 4- kotvenie ocelevej konštrukcie strechy do železobetónových stĺpov .....	4
Obrázok 5- pôdorys časti OK strechy .....	5
Obrázok 6 zaťaženie- strešný plášť .....	7
Obrázok 7 zaťaženie na väznice- strešný plášť .....	7
Obrázok 8 premenlivé zaťaženie kategória H.....	8
Obrázok 9 zaťaženie na väznice- Kategória H.....	8
Obrázok 10 klimatické zaťaženie sneh .....	10
Obrázok 11 zaťaženie na väznice- sneh .....	10
Obrázok 12 označenie vybratej časti konštrukcie v pôdoryse .....	11
Obrázok 13 smer pôsobenia vetra na 3D model .....	11
Obrázok 14-smer pôsobenia pozdĺžneho vetra v pôdoryse tribúny .....	12
Obrázok 15 -hodnota max charakteristického tlaku vetru vygenerovaného v programe SCIA .....	13
Obrázok 16- rozdelenie oblastí pre pôsobenie pozdĺžneho vetra pre plochú strechu .....	15
Obrázok 17 3D generátor vetra cpe10.....	16
Obrázok 18 výsledný tlak vetra $w_k$ pre $-c_{pi}=0,2$ .....	17
Obrázok 19 výsledný tlak vetra $w_k$ pre $+c_{pi}=0,2$ .....	17
Obrázok 20 výsledný tlak vetra $w_k$ pre $-c_{pi}=-0,3$ .....	18
Obrázok 21 výsledný tlak vetra $w_k$ pre $+c_{pi}=-0,3$ .....	18
Obrázok 22- označenie plôch stien ( pôdorys objektu).....	19
Obrázok 23 grafické znázornenie $C_{pi}=0,2$ (smer vetra od hracej plochy .....	21
Obrázok 24 grafické znázornenie $C_{pi}=-0,3$ (smer vetra od hracej plochy) .....	21
Obrázok 25 grafické znázornenie $C_{pi}=+0,2$ (smer vetra z parkoviska).....	21
Obrázok 26 afické znázornenie $C_{pi}=-0,3$ (smer vetra z parkoviska).....	22
Obrázok 27 stále zaťaženie ŽB konštrukcia - od stropov, dosiek a podláh .....	24
Obrázok 28 stále zaťaženie ŽB konštrukcie - od tribúnovej lavice .....	24
Obrázok 29 zaťaženie na ŽB konštrukciu - zhromažďovanie ľudí, kategória C5 .....	25
Obrázok 30 pôsobenie od strešného plášťa, hodnoty maximálnych reakcií v mieste podopretia .....	25

Obrázok 31 Pôdorys dosky D1.....	30
Obrázok 32 statické schéma dosky D1.....	31
Obrázok 33 vykreslenie ohybových momentov doska D1.....	31
Obrázok 34 Pôdorys dosky D2.....	32
Obrázok 35 statické schéma dosky D2.....	32
Obrázok 36 vykreslenie ohybových momentov doska D2.....	33
Obrázok 37 Pôdorys doska D3.....	33
Obrázok 38 statické schéma doska D3.....	34
Obrázok 39 vykreslenie ohybových momentov doska D3.....	34
Obrázok 40 označenie prievlakov.....	35
Obrázok 41 statické schéma prievlakov.....	37
Obrázok 42 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P1.....	37
Obrázok 43 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P2.....	37
Obrázok 44 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P3 a P4.....	38
Obrázok 45 Priebeh ohybových momentov a posúvajúcich síl- prievlak P5.....	38
Obrázok 46 označenie stĺpov.....	39
Obrázok 47 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S1.....	40
Obrázok 48 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S2.....	41
Obrázok 49 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S3.....	42
Obrázok 50 Priebeh ohybových momentov a normálových síl- Stĺp S4.....	43
Obrázok 51 Zaťaženie pôsobiace šikmý prut.....	44
Obrázok 52 zväčšený prierez $h/\cos\alpha$ .....	44
Obrázok 53 vlastná tiaž šikmý nosník farebné oblasti pre výpočet.....	46
Obrázok 54 Priebeh normálových síl- šikmý nosník tribúny.....	47
Obrázok 55 Priebeh posúvajúcich síl- šikmý nosník tribúny.....	47
Obrázok 56 Priebeh ohybových momentov- šikmý nosník tribúny.....	48
Obrázok 57- Interakčný diagram pre stĺp S1.....	105
Obrázok 58 Interakčný diagram stĺp S2.....	106
Obrázok 59 interakčný diagram Stĺp S3.....	107
Obrázok 60 Interakčný diagram pre stĺp S4.....	108

**Zoznam tabuliek**

Tabuľka 1 stále zaťaženie doska 3NP .....	22
Tabuľka 2 stále zaťaženie doska 2NP .....	22
Tabuľka 3 stále zaťaženie doska 1NP .....	23
Tabuľka 4 stále zaťaženie tribúnova ŽB lavica.....	23
Tabuľka 5 Líniové zaťaženia na konštrukciu.....	23
Tabuľka 6 úžitné zaťaženia .....	23

## **Zoznam príloh**

1. Výkres výstuže stropnej dosky D1
2. Výkres výstuže prievlaku P1, P2 a P3
3. Výkres výstuže stĺpu S3,S4
4. Výkres výstuže šikmého nosníka



## Zoznam použitej literatúry

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1-1: Obecná zatížení- objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. ČNI, Březen 2004.
- [3] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1-3: Obecná zatížení- Zatížení sněhem*. ČNI, Březen 2005.
- [4] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí- Část 1-4: Obecná zatížení- Zatížení větrem*. ČNI, Květen 2005.
- [5] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí- Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. ČNI, 2006.
- [6] KOZIELOVÁ, Marie. [online]. Ostrava [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: [homel.vsb.cz/~sta366/Prvky%20betonovych%20konstrukci/PBK\\_souhrn.pdf](http://homel.vsb.cz/~sta366/Prvky%20betonovych%20konstrukci/PBK_souhrn.pdf)